

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 10-300961

(43)Date of publication of application : 13.11.1998

(51)Int.Cl.

G02B 6/122

G02B 6/13

G02B 6/12

(21)Application number : 09-205093

(71)Applicant : NIPPON TELEGR & TELEPH  
CORP <NTT>

(22)Date of filing : 30.07.1997

(72)Inventor : YOSHIMURA RIYOUKOU  
HIKITA MAKOTO  
TOMARU AKIRA  
IMAMURA SABURO  
USUI MITSUO  
KATSURA KOSUKE

(30)Priority

Priority number : 08202275  
09 43606

Priority date : 31.07.1996  
27.02.1997

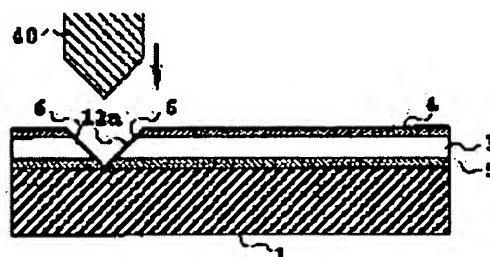
Priority country : JP  
JP

(54) OPTICAL PATH CHANGING ELEMENT, MANUFACTURE THEREOF AND BLADE FOR MANUFACTURING THE OPTICAL PATH CHANGING ELEMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an optical path changing element having high performance being effective for high integration of an optical module such as an optical transmitter-receiver and reduction of an assembling cost by forming a V groove in an optical waveguide by means of an entrance/exit plane and a tilt end face.

SOLUTION: By performing cutting operation using a diamond blade 40 having a machined point of blade of about 90° roof 12 i il e es 6 6 is formed on a planar optical waveguide. Since a dicing



saw is used, machining with the positional accuracy of a sub-micron order is performed in both horizontal and height directions. The depth of machining may be deeper than the boundary surface between a core 3 and a lower clad 5 and the machining is either stopped in the lower clad 5 or cut into a substrate 1. Since the diamond blade is equally matched to an abrasive paper used for grinding optical parts, this machining process has an effect equivalent to simultaneous execution of machining of the tilt end face and surface grinding of high optical grade and the excellently smooth machined surface is obtained.

## \* NOTICES \*

JP0 and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

## CLAIMS

---

[Claim(s)]

[Claim 1]Have an optical waveguide possessing an inclined end side for optical-path conversion which has a desired angle of inclination, and reflection in said inclined end side is used, . [ whether an optical path of light which spreads said optical waveguide is changed, and it is emitted outside a flat surface of this optical waveguide, and ] Or are a function which changes an optical path of light which enters from the outside of a flat surface of this optical waveguide, and is combined to this optical waveguide an optical-path sensing element which it has, and to said optical waveguide. An optical-path sensing element, wherein an ON emission face which has a slight inclination to a field vertical to an optic axis of said optical waveguide is countered and formed in said inclined end side and V-like slot is formed in said optical waveguide of said ON emission face and said inclined end side.

[Claim 2]The optical-path sensing element according to claim 1, wherein angles toward which said ON emission face inclines to a field vertical to said optical waveguide optic axis are 1 time - 30 degrees.

[Claim 3]The optical-path sensing element according to claim 1 or 2, wherein a slot of the shape of said V is filled up with a substance which has a refractive index near core materials of said optical waveguide.

[Claim 4]The optical-path sensing element according to claim 3, wherein a substance which has a refractive index near core materials of said optical waveguide is resin.

[Claim 5]Have an optical waveguide possessing an inclined end side for optical-path conversion which has a desired angle of inclination, and reflection in said inclined end side is used, . [ whether an optical path of light which spreads said optical waveguide is changed, and it is emitted outside a flat surface of this optical waveguide, and ] Or are a function which changes an optical path of light which enters from the outside of a flat surface of this optical waveguide, and is combined to this optical waveguide an optical-path sensing element which it

has, and to said optical waveguide. An optical-path sensing element, wherein an ON emission face almost vertical to an optic axis of said optical waveguide is countered and formed in said inclined end side, V-like slot is formed in said optical waveguide of said ON emission face and said inclined end side and this slot is filled up with a substance which has a refractive index near core materials of said optical waveguide.

[Claim 6]The optical-path sensing element according to claim 5, wherein a substance which has a refractive index near core materials of said optical waveguide is resin.

[Claim 7]The optical-path sensing element according to any one of claims 1 to 6, wherein said optical waveguide is a flat-surface type optical waveguide.

[Claim 8]The optical-path sensing element according to any one of claims 1 to 6, wherein said optical waveguide is an optical fiber.

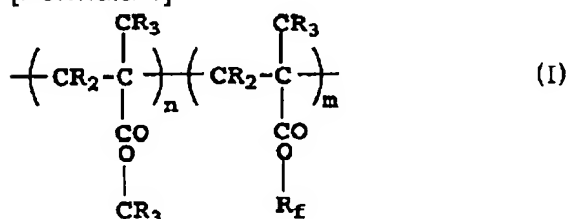
[Claim 9]The optical-path sensing element according to any one of claims 1 to 8, wherein a core and a clad of said optical waveguide comprise textile-glass-yarn material.

[Claim 10]The optical-path sensing element according to any one of claims 1 to 8, wherein a core of said optical waveguide comprises textile-glass-yarn material and a clad comprises a polymer material.

[Claim 11]The optical-path sensing element according to any one of claims 1 to 8, wherein a core and a clad of said optical waveguide comprise a polymer material.

[Claim 12]The optical-path sensing element according to claim 11 which polymer materials which constitute said core and a clad are polymers expressed with following structural-formula (I), respectively, and is characterized by a polymer material which constitutes said clad having a refractive index smaller than a polymer material of said core.

[Formula 1]

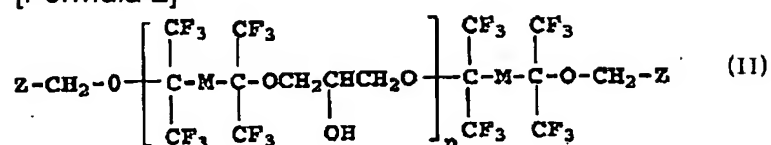


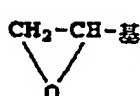
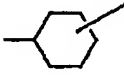
(Among a formula, n and m have a relation of n+m=1 and express 0<=n and the positive number with which it is satisfied of m<=1.) R expresses heavy hydrogen or hydrogen, R<sub>f</sub> shows the substituent expressed with F<sub>2s</sub> of C<sub>s</sub>+1, and s is one or more integers.

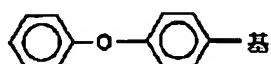
[Claim 13]A mixture in which a polymer material which constitutes said core and a clad consists of following structural-formula (II) - (IV), respectively, Or the optical-path sensing element according to claim 11 which is the epoxy resin produced by carrying out photo-curing of a kind chosen from (II) - (IV), and is characterized by a polymer material which constitutes said clad having a refractive index smaller than a polymer material of said core.



[Formula 2]

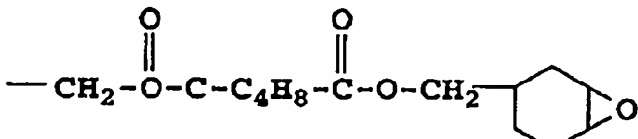


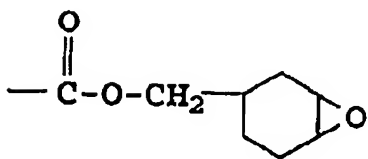
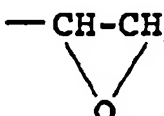
(式中、Zは  であり、Mは  基 または

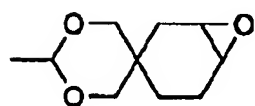
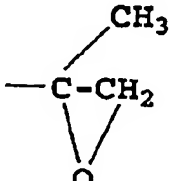
 基 であり、nは0または任意の自然数である。)

[Formula 3]

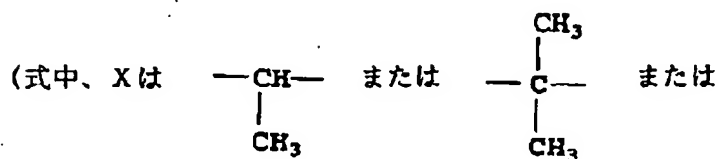
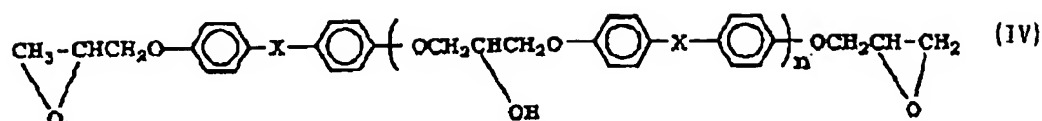


(式中、Yは  または

 または  または

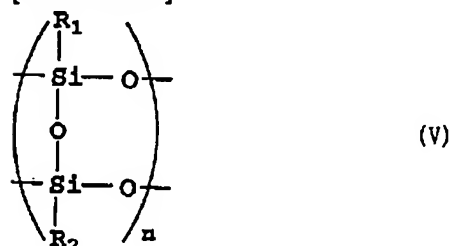
 または  である。)

[Formula 4]

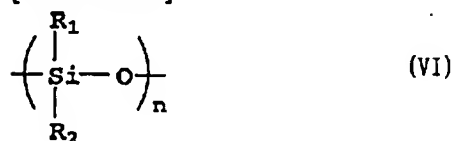


[Claim 14] A polysiloxane in which a polymer material which constitutes said core and a clad has a repeating unit expressed with following structural-formula (V) or (VI), respectively, Or a copolymerization polysiloxane of a repeating unit expressed with the structural-formula (V) or (VI), And the optical-path sensing element according to claim 11 which is the polymers chosen from a group which consists of these mixtures, and is characterized by a polymer material which constitutes said clad having a refractive index smaller than a polymer material of said core.

[Formula 5]



[Formula 6]



the inside of a formula,  $\text{R}_1$ , and  $\text{R}_2$  are the same or different, and are  $\text{C}_n\text{Y}_{2n+1}$  (Y -- hydrogen.) heavy hydrogen or halogen, and n -- five or less positive integer -- expressing -- the alkyl group expressed. They are a deuteration alkyl group, an alkyl halide group or a phenyl group expressed with  $\text{C}_6\text{Y}_5$  (Y expresses hydrogen, heavy hydrogen, or halogen), a deuteration phenyl group, or a halogenation phenyl group.

[Claim 15] Polymer materials which constitute said core are polymers expressed with said structural-formula (I), The optical-path sensing element according to claim 11 being the epoxy resin produced by carrying out photo-curing of a kind as which a polymer material which constitutes said clad was chosen from a mixture which consists of said structural-formula (II) - (IV) or (II) - (IV).

[Claim 16] A polysiloxane in which a polymer material which constitutes said core has a repeating unit expressed with said structural-formula (V) or (VI), Or a copolymerization polysiloxane of a repeating unit expressed with the structural-formula (V) or (VI), And a mixture in which it is the polymers chosen from a group which consists of these mixtures, and a polymer material which constitutes said clad consists of said structural-formula (II) - (IV), Or the optical-path sensing element according to claim 11 being the epoxy resin produced by carrying out photo-curing of a kind chosen from (II) - (IV).

[Claim 17] Have an optical waveguide possessing an inclined end side for optical-path conversion which has a desired angle of inclination, and reflection in said inclined end side is used, . [ whether an optical path of light which spreads said optical waveguide is changed, and it is emitted outside a flat surface of this optical waveguide, and ] Or it is a manufacturing method of an optical-path sensing element which has a function which changes an optical path of light which enters from the outside of a flat surface of this optical waveguide, and is combined to this optical waveguide, A manufacturing method of an optical-path sensing element characterized by forming V-like slot where a single-sided inner surface turns into an inclined end side of said request at least at said optical waveguide when one side cuts at least by applying vertically a predetermined braid of the edge of a blade by which the angle inclination was carried out to said optical waveguide.

[Claim 18] A manufacturing method of the optical-path sensing element according to claim 17 performing cutting with said braid using a dicing saw.

[Claim 19] A manufacturing method of the optical-path sensing element according to claim 17 or 18 setting up smaller than an angle of inclination of a request of said inclined end side to a field vertical to an optic axis of said optical waveguide an angle of inclination of said edge of a blade.

[Claim 20] A manufacturing method of the optical-path sensing element according to claim 19 setting up smaller 0 degree - 2 degrees than an angle of inclination of a request of an inclined end side to a field vertical to an optic axis of said optical waveguide an angle of inclination of said edge of a blade.

[Claim 21] A manufacturing method of the optical-path sensing element according to any one of claims 17 to 20 using a diamond blade which has a diamond grain whose mean particle diameter is 1 micrometer - 5 micrometers as a braid used for said cutting.

[Claim 22] A manufacturing method of the optical-path sensing element according to any one of

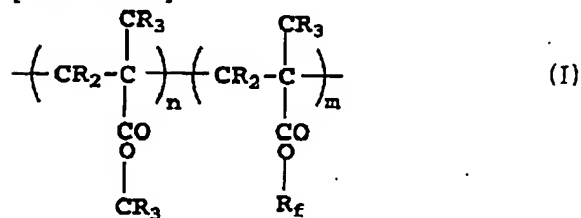
claims 17 to 21, wherein said optical waveguide constitutes a core and a clad from textile-glass-yarn material.

[Claim 23]A manufacturing method of the optical-path sensing element according to any one of claims 17 to 21 constituting a core of said optical waveguide from textile-glass-yarn material, and constituting a clad from a polymer material.

[Claim 24]A manufacturing method of the optical-path sensing element according to any one of claims 17 to 21 constituting a core and a clad of said optical waveguide from a polymer material.

[Claim 25]A manufacturing method of the optical-path sensing element according to claim 24 making a polymer material which uses a polymer material which constitutes said core and a clad as polymers expressed with following structural-formula (I), respectively, and constitutes said clad into what has a refractive index smaller than a polymer material of said core.

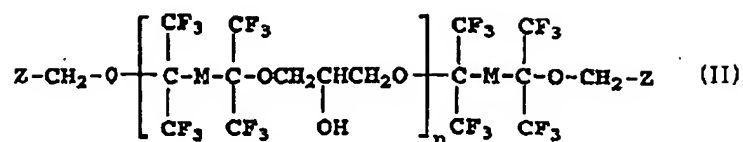
[Formula 7]





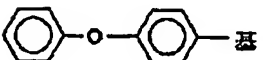
(Among a formula, n and m have a relation of  $n+m=1$  and express  $0 \leq n$  and the positive number with which it is satisfied of  $m \leq 1$ .) R expresses heavy hydrogen or hydrogen,  $\text{R}_f$  shows the substituent expressed with  $\text{F}_{2s} \text{ of } \text{C}_s + 1$ , and s is one or more integers.

[Claim 26]A mixture which consists of following structural-formula (II) - (IV) a polymer material which constitutes said core and a clad, respectively, Or a manufacturing method of the optical-path sensing element according to claim 24 making a polymer material which considers it as an epoxy resin produced by carrying out photo-curing of a kind chosen from (II) - (IV), and constitutes said clad into what has a refractive index smaller than a polymer material of said core.

[Formula 8]




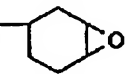

(式中、Zは  基であり、Mは  基または

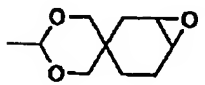
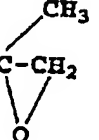
 基であり、nは0または任意の自然数である。)

[Formula 9]

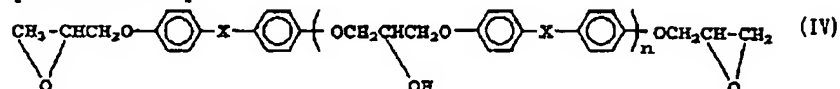


(式中、Yは  $-\text{CH}_2-\text{O}-\text{C}(=\text{O})-\text{C}_4\text{H}_8-\text{C}(=\text{O})-\text{O}-\text{CH}_2-$   または

$-\text{C}(=\text{O})-\text{O}-\text{CH}_2-$   または  $-\text{CH}-\text{CH}_2$   または

 または  $-\text{C}(\text{CH}_3)-\text{CH}_2$   である。)

[Formula 10]

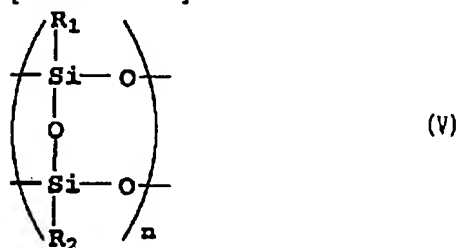


(式中、Xは  $-\text{CH}(\text{CH}_3)-$  または  $-\text{C}(\text{CH}_3)_2-$  または

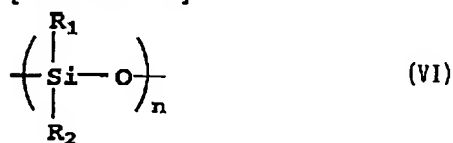
$-\text{CH}_2-$  である。)

[Claim 27] A polysiloxane which has a repeating unit expressed with following structural-formula (V) or (VI) in a polymer material which constitutes said core and a clad, respectively, Or a copolymerization polysiloxane of a repeating unit expressed with the structural-formula (V) or (VI), And a manufacturing method of the optical-path sensing element according to claim 24 making polymers material which considers it as polymers chosen from a group which consists of these mixtures, and constitutes said clad into what has a refractive index smaller than a polymer material of said core.

[Formula 11]



[Formula 12]



the inside of a formula,  $R_1$ , and  $R_2$  are the same or different, and are  $C_n Y_{2n+1}$  (Y -- hydrogen.) heavy hydrogen or halogen, and n -- five or less positive integer -- expressing -- the alkyl group expressed. They are a deuteration alkyl group, an alkyl halide group or a phenyl group expressed with  $C_6 Y_5$  (Y expresses hydrogen, heavy hydrogen, or halogen), a deuteration phenyl group, or a halogenation phenyl group.

[Claim 28] A polymer material which constitutes said core is used as polymers expressed with said structural-formula (I), A manufacturing method of the optical-path sensing element according to claim 24 considering it as an epoxy resin produced by carrying out photo-curing of a kind chosen from a mixture which consists of said structural-formula (II) - (IV) or (II) - (IV) in a polymer material which constitutes said clad.

[Claim 29] A polysiloxane which has a repeating unit expressed with said structural-formula (V) or (VI) in a polymer material which constitutes said core, Or a copolymerization polysiloxane of a repeating unit expressed with the structural-formula (V) or (VI), And a mixture which consists of said structural-formula (II) - (IV) a polymer material which considers it as polymers chosen from a group which consists of these mixtures, and constitutes said clad, Or a manufacturing method of the optical-path sensing element according to claim 24 considering it as an epoxy resin produced by carrying out photo-curing of a kind chosen from (II) - (IV).

[Claim 30]A manufacturing method of the optical-path sensing element according to any one of claims 24 to 29 hitting a trowel heated to an elevated temperature to this inclined end side, and smoothing this inclined end side surface after forming said inclined end side.

[Claim 31]A manufacturing method of the optical-path sensing element according to any one of claims 24 to 29 immersing this inclined end side into an organic solvent, and smoothing this inclined end side surface after forming said inclined end side.

[Claim 32]A manufacturing method of an optical-path sensing element given in either of claims 22 and 23 immersing this inclined end side into fluoric acid buffer solution, and smoothing this inclined end side surface after forming said inclined end side.

[Claim 33]A manufacturing method of the optical-path sensing element according to any one of claims 17 to 32 coating this inclined end side with metal after said inclined end side formation.

[Claim 34]A manufacturing method of the optical-path sensing element according to any one of claims 17 to 33, wherein said optical waveguide is a flat-surface type optical waveguide.

[Claim 35]A manufacturing method of the optical-path sensing element according to any one of claims 17 to 33, wherein said optical waveguide is an optical fiber.

[Claim 36]A manufacturing method of the optical-path sensing element according to claim 35 fixing a tip part containing a cutting part of said optical fiber on a planar substrate using an adhesive film, and cutting by applying vertically a braid with which an angle of inclination was provided in the edge of a blade after that to this optical fiber.

[Claim 37]A manufacturing method of the optical-path sensing element according to claim 36, wherein said adhesive film is an ultraviolet-rays resolvable-type adhesive film.

[Claim 38]A manufacturing method of the optical-path sensing element according to claim 35 fixing a tip part containing a cutting part of said optical fiber on a planar substrate using ultraviolet curing resin or heat-curing resin, and cutting by applying vertically a braid with which an angle of inclination was provided in the edge of a blade after that to this optical fiber.

[Claim 39]Have an optical waveguide possessing an inclined end side for optical-path conversion which has a desired angle of inclination, and reflection in said inclined end side is used, In production of an optical-path sensing element which has a function which changes an optical path of light which spreads said optical waveguide, changes an optical path of light which is emitted outside a flat surface of this optical waveguide, or enters from the outside of a flat surface of this optical waveguide, and is combined to this optical waveguide, A braid for optical-path sensing-element production which is a braid for optical-path sensing-element production for forming by cutting using a dicing saw of said inclined end side, and is characterized by a thing of the edge of a blade done [ one side ] for the angle inclination of predetermined at least.

[Claim 40]The braid according to claim 39, wherein an angle of inclination of said edge of a blade is set up smaller than an angle of inclination of a request of said inclined end side to a

field vertical to an optic axis of said optical waveguide.

[Claim 41]the braid according to claim 40, wherein an angle of inclination of said edge of a blade resembles an optic axis of said optical waveguide and is set up smaller 0 degree - 2 degrees than an angle of inclination of a request of an inclined end side to a vertical field.

[Claim 42]The braid according to any one of claims 39 to 41 having a diamond grain whose mean particle diameter is 1 micrometer - 5 micrometers as an abrasive grain.

---

[Translation done.]



\* NOTICES \*

JP0 and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

## DETAILED DESCRIPTION

---

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Field of the Invention]This invention relates to the optical-path sensing element which consists of an optical waveguide which has an optical-path translator used for communication using light, measurement, information processing, etc., and its producing method.

[0002]

[Description of the Prior Art]As an optical waveguide which has said optical-path translator, there are a flat-surface type optical waveguide and a fiber type optical waveguide. When this invention only describes an optical waveguide and especially each is hereafter shown including these flat-surfaces type optical waveguide and a fiber type optical waveguide, one side is described as a flat-surface type optical waveguide, and another side is described as a fiber type optical waveguide or an optical fiber.

[0003]The 45-degree micro mirror produced by establishing the inclined end side of 45 degrees in a flat-surface type optical waveguide or a fiber type optical waveguide can perform 90 optical-path conversion compactly. Therefore, it is expected that the optical-path sensing element which consists of an optical-path sensing element which consists of a flat-surface type optical waveguide possessing said micro mirror, or a fiber type optical waveguide is an element effective in high integration of a light module, reduction of assembly cost, etc. In order to produce a multi-channel light-transmission-and-reception machine with a compact and a low price especially in recent years, Research and development of the light-transmission-and-reception machine of the structure of combining the array-ized surface light form (field light-receiving type) light corpuscle child and the optical waveguide horizontally arranged to the luminescence (light-receiving) side of these luminescence (light-receiving) element by the 45-degree micro mirror produced by the end face of this optical waveguide are done briskly.

[0004]As art which produces the micro mirror of 45 degrees to a flat-surface type optical

waveguide end face, (1) With a microtome. Mechanically the end face. How to cut aslant. B.L.Booth,"Polymers for integrated optical waveguides", in Polymers for Electronic and Photonic Applications, C. P., [ Wong and ] Ed., New York: Academic, 1993, and pp.549 -599 reference, (2) The method (H. Takahara et al, Proc. of SPIE, vol.1849, and 70-78 (1993) reference) of producing by reactive ion etching, (3) the laser ablation method and (4) -- the method (Osamu Mikami et al., "a view of optical mounting technology", Shingaku Giho, and OPE95-47 (1995-08) reference) of putting in a cut 45 degrees by a thin rotary blade is reported.

[0005]Drawing 1 and drawing 2 are the drawings explaining how a microtome cuts the end face aslant mechanically (1). 201 show a film waveguide among a figure and 202 shows an edge. 203 is the film waveguide by which the micro mirror was formed in the end face of cut processing with the edge 202. The method shown in this drawing 1 and drawing 2 forms a micro mirror by cutting the film waveguide 201 fixed by leaning 45 degrees to the cutting direction using the edge 202. Although this method (1) is a simple method, (1-i). To the optical waveguide supported on the substrate hard [ , such as the optical waveguides or silicon which were produced with a hard material, such as glass, and glass, ], are inapplicable. (1-ii) When two or more waveguides are formed in parallel into the same sample, can form an inclined end side mirror to all the waveguide of them, but. There is a problem that an inclined end side mirror cannot be formed only to some waveguides of them and that reflection loss becomes a little large since the smooth nature of a cutting plane (1-iv) in which it is difficult to position the position which forms a mirror (1-iii) with high precision has a limit.

[0006]On the other hand, in the method (2) of forming a mirror by reactive ion etching, there is a problem that a process (2-i) is complicated, and the condition arrangement of etching (2-ii) which requires time is difficult, and it is difficult to produce the angle of gradient of a mirror with sufficient accuracy.

[0007]In the laser ablation method (3), there is a problem that a device (3-i) is expensive, the condition arrangement of etching (3-ii) which requires time for production is difficult, and a large manufacturing device and an alteration of condition are needed for every material.

[0008]Drawing 3 and drawing 4 are the drawings explaining how (4) to produce a micro mirror by putting 45 cuts into a flat-surface type optical waveguide by a rotary blade. the inside of a figure, and 204 -- a core and 207 show an upper clad, 208 shows a rotary blade, and, as for a lower clad and 206, a substrate and 205 show 45 cuts 209, respectively. This method is the method of forming 45 cuts 209 in the waveguide which consists of a core and a clad by fixing a sample to the rotary blade 208, so that the optic axis of a flat-surface type optical waveguide may have an angle of 45 degrees, and cutting at 45 degrees using the rotary blade 208. Although this method (4) has the advantage that the mirror surface which was excellent in smooth nature by selecting a suitable braid can be formed, (4-i) There is a problem that the

fixing method of a sample is difficult, and it is difficult to smooth an inclined end side by fabricating since it is a narrow cut slot that the control of an angle (4-ii) which needs the device which devised the special device forms the difficult inclined end (4-iii) side.

[0009]the method (5) of on the other hand carrying out slanting polish of the end face, using the burnisher as art which produces an inclined end side mirror 45 degrees to an optical fiber end is devised (KP.Jackson et al., Proc. of SPIE, vol.994, and 40-47 (1988) reference). Since a smooth optical mirror plane is acquired this method, although it is used widely, (5-i) In order the thing with difficult control of the delicate angle of inclination of a mirror surface (5-ii) which the accuracy of position which produces an inclined end side mirror cannot issue easily for which many samples are ground at once (5-iii) is difficult and for polish to take time, While saying that a method top is impossible for performing mirror processing to the part in the middle of the optical path of the fiber sheet by which the optical fiber was embedded into the sheet or the board with resin (5-iv), or a fiberboard with low productivity, there is a title.

[0010]The oscillation wavelength of the surface emission-type laser usually used for the optical transmitter and receiver modules which aimed at low-pricing is a 0.85-micrometer belt. for this reason -- as waveguide material -- this wavelength band -- low-loss \*\*\*\* -- things become important. For example, in the polyimide known as a heat-resistant polymer material, cm, about 1dB /, and a loss have high absorption of electron transition with the visible region from an ultraviolet region, and a 0.85-micrometer belt. Therefore, the optical waveguide which consists of material used conventionally was unsuitable in order to have used it as an optical waveguide which constitutes an optical-path sensing element.

[0011]

[Problem(s) to be Solved by the Invention]As explained above, in the sensing element which consists of the conventional flat-surface type waveguide type optical path, to the method (1) of forming a micro mirror by cut processing. (1-i). Are inapplicable to the optical waveguide produced or supported by the hard substrate using a hard material. (1-ii) There was a problem that an inclined plane mirror is not processible into a portion in the middle of an optical path and that the reflection loss to which taking out the accuracy of the position which produces a mirror (1-iii) originates in the difficult roughness of a cutting plane (1-iv) was a little large.

[0012]In the method (2) of forming a micro mirror by reactive ion etching, there was a problem that a process (2-i) is complicated, and the condition (2-ii) arrangement which requires time was difficult, and it was difficult to double the angle of gradient of a mirror with accuracy sufficient at a desired angle.

[0013]In the laser ablation method (3), there is a problem that a device (3-i) is expensive, the condition arrangement of etching (3-ii) which requires time for production is difficult, and a large manufacturing device and an alteration of condition are needed for every material.

[0014]In the method (4) of producing a micro mirror by putting 45 cuts into a flat-surface type

optical waveguide by a rotary blade. (4-i) There was a problem that the fixing method of a sample is difficult, and it was difficult to smooth an inclined end side by fabricating since it is a narrow cut slot that the control of an angle (4-ii) which needs the device which devised the special device forms the difficult inclined end (4-iii) side.

[0015]Although the optical-path sensing element which consists of the conventional optical fiber type optical waveguide forms the inclined end side mirror by slanting polish, . It is hard to take out the accuracy of position which produces a mirror (5-i) to this slanting grinding method (5). (5-ii) In order the thing with difficult control of the delicate angle of inclination of a mirror surface for which many samples are ground at once (5-iii) is difficult and for polish to take time, While saying that a method top was impossible for performing mirror processing to the part in the middle of the optical path of the fiber sheet by which the optical fiber was embedded into the sheet or the board with resin (5-iv), or a fiberboard with low productivity, there was a title.

[0016]The method of producing simply the inclined end side (micro mirror) which has a desired angle of gradient in the position of a request of the flat-surface type optical waveguide which this invention is made in view of such the actual condition, and constitutes a light corpuscle child, or an optical fiber with sufficient accuracy is provided, And it has the peculiar shape obtained as a result, and let it be a technical problem to provide the optical-path sensing element which can obtain the operation effect which is not obtained by the conventional optical-path sensing element with the shape.

[0017]this invention makes it a technical problem to provide the optical-path sensing element which consists of a low material of the propagation loss in the 0.85-micrometer belt used in the field of optical interconnection or optical communications, a 1.3-micrometer belt, and a 1.55-micrometer belt.

[0018]It is also a technical problem of this invention to provide a working tool required in order to produce a suitable optical-path sensing element.

[0019]

[Means for Solving the Problem]In order to solve said technical problem, an optical-path sensing element of claim 1 of this invention, Have an optical waveguide possessing an inclined end side for optical-path conversion which has a desired angle of inclination, and reflection in said inclined end side is used, . [ whether an optical path of light which spreads said optical waveguide is changed, and it is emitted outside a flat surface of this optical waveguide, and ] Or are a function which changes an optical path of light which enters from the outside of a flat surface of this optical waveguide, and is combined to this optical waveguide an optical-path sensing element which it has, and to said optical waveguide. An ON emission face which has a slight inclination to a field vertical to an optic axis of said optical waveguide is countered and formed in said inclined end side, and V-like slot is formed in said optical waveguide of said ON emission face and said inclined end side.

[0020]An optical-path sensing element of claim 2 of this invention is characterized by angles which incline to a field where said ON emission face is vertical to said optical waveguide optic axis being 1 time - 30 degrees in an element of said claim 1.

[0021]It fills up with a substance in which an optical-path sensing element of claim 3 of this invention has a refractive index near core materials of said optical waveguide into a slot of the shape of said V in an element of said claim 1 or 2.

[0022]An optical-path sensing element of claim 4 of this invention is characterized by a substance which has a refractive index near core materials of said optical waveguide being resin in an element of said claim 3.

[0023]An optical-path sensing element of claim 5 of this invention has an optical waveguide possessing an inclined end side for optical-path conversion which has a desired angle of inclination, and reflection in said inclined end side is used, . [ whether an optical path of light which spreads said optical waveguide is changed, and it is emitted outside a flat surface of this optical waveguide, and ] Or are a function which changes an optical path of light which enters from the outside of a flat surface of this optical waveguide, and is combined to this optical waveguide an optical-path sensing element which it has, and to said optical waveguide. An ON emission face almost vertical to an optic axis of said optical waveguide is countered and formed in said inclined end side, V-like slot is formed in said optical waveguide of said ON emission face and said inclined end side, and this slot is filled up with a substance which has a refractive index near core materials of said optical waveguide.

[0024]An optical-path sensing element of claim 6 of this invention is characterized by a substance which has a refractive index near core materials of said optical waveguide being resin in an element of said claim 5.

[0025]An optical-path sensing element of claim 7 of this invention is characterized by said optical waveguide being a flat-surface type optical waveguide in one element of said claims 1 thru/or 6.

[0026]An optical-path sensing element of claim 8 of this invention is characterized by said optical waveguide being an optical fiber in one element of said claims 1 thru/or 6.

[0027]In one element of said claims 1 thru/or 8, as for an optical-path sensing element of claim 9 of this invention, a core and a clad of said optical waveguide comprise textile-glass-yarn material.

[0028]In one element of said claims 1 thru/or 8, a core of said optical waveguide comprises textile-glass-yarn material, and, as for an optical-path sensing element of claim 10 of this invention, a clad comprises a polymer material.

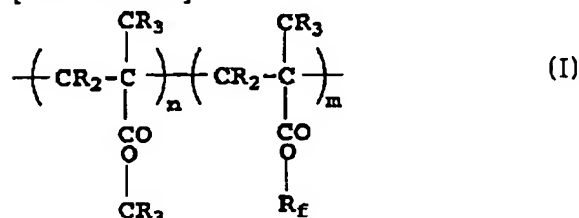
[0029]In one element of said claims 1 thru/or 8, as for an optical-path sensing element of claim 11 of this invention, a core and a clad of said optical waveguide comprise a polymer material.

[0030]In an element of said claim 11, polymer materials which constitute said core and a clad

are polymers expressed with following structural-formula (I), respectively, and an optical-path sensing element of claim 12 of this invention is characterized by a polymer material which constitutes said clad having a refractive index smaller than a polymer material of said core.

[0031]

[Formula 13]

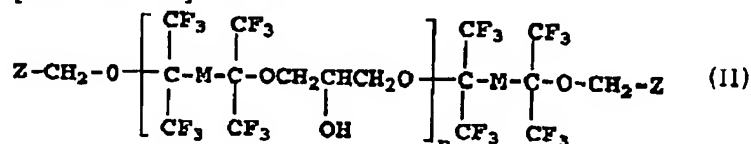



[0032](Among a formula, n and m have a relation of  $n+m=1$  and express  $0 \leq n$  and the positive number with which it is satisfied of  $m \leq 1$ .) R expresses heavy hydrogen or hydrogen,  $\text{R}_f$  shows the substituent expressed with  $\text{F}_{2s} \text{ of } \text{C}_s + 1$ , and s is one or more integers.

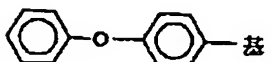
In the element of said claim 11 the optical-path sensing element of claim 13 of this invention, The mixture in which the polymer material which constitutes said core and a clad consists of following structural-formula (II) - (IV), respectively, Or it is the epoxy resin produced by carrying out photo-curing of a kind chosen from (II) - (IV), and is characterized by the polymer material which constitutes said clad having a refractive index smaller than the polymer material of said core.

[0033]

[Formula 14]



(式中、Zは  $\text{CH}_2-\text{CH}-$ 基であり、Mは  基 または

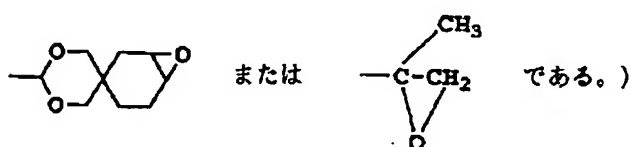
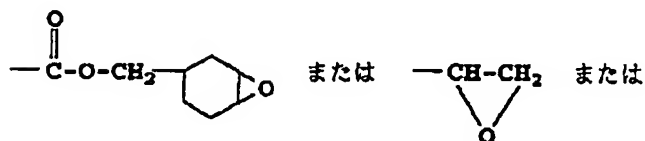
 基 であり、nは0または任意の自然数である。)

[0034]

[Formula 15]

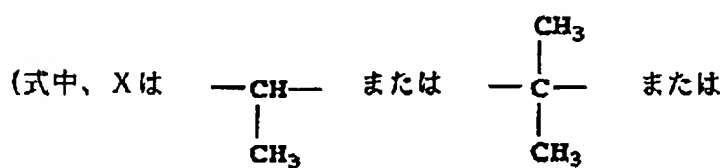
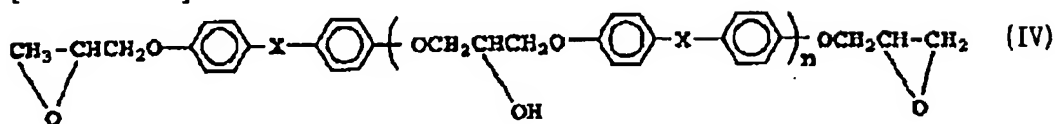


(式中、Yは  $-\text{CH}_2-\text{O}-\text{C}(=\text{O})-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}(=\text{O})-\text{O}-\text{CH}_2-$  または



[0035]

[Formula 16]

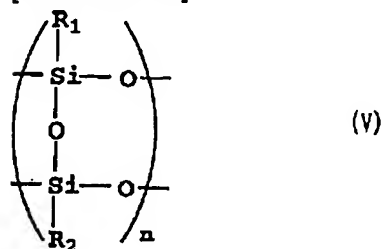


[0036] In the element of said claim 11 the optical-path sensing element of claim 14 of this invention, The polysiloxane in which the polymer material which constitutes said core and a clad has a repeating unit expressed with following structural-formula (V) or (VI), respectively, Or it is the polymers chosen from the copolymerization polysiloxane of the repeating unit expressed with the structural-formula (V) or (VI), and the group which consists of these mixtures, and is characterized by the polymer material which constitutes said clad having a

refractive index smaller than the polymer material of said core.

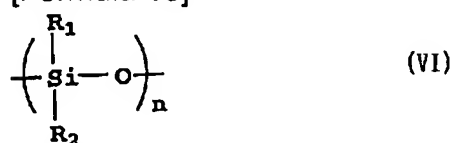
[0037]

[Formula 17]



[0038]

[Formula 18]



[0039]the inside of a formula,  $R_1$ , and  $R_2$  are the same or different, and are  $C_n Y_{2n+1}$  ( $Y$  -- hydrogen.) heavy hydrogen or halogen, and  $n$  -- five or less positive integer -- expressing -- the alkyl group expressed. They are a deuteration alkyl group, an alkyl halide group or a phenyl group expressed with  $C_6 Y_5$  ( $Y$  expresses hydrogen, heavy hydrogen, or halogen), a deuteration phenyl group, or a halogenation phenyl group.

In the element of said claim 11 the optical-path sensing element of claim 15 of this invention, The polymer materials which constitute said core are polymers expressed with said structural-formula (I), and it is characterized by being the epoxy resin produced by carrying out photo-curing of a kind as which the polymer material which constitutes said clad was chosen from the mixture which consists of said structural-formula (II) - (IV) or (II) - (IV).

[0040]In an element of said claim 11 an optical-path sensing element of claim 16 of this invention, A polysiloxane in which a polymer material which constitutes said core has a repeating unit expressed with said structural-formula (V) or (VI), Or a copolymerization polysiloxane of a repeating unit expressed with the structural-formula (V) or (VI), And it is the polymers chosen from a group which consists of these mixtures, and is characterized by being the epoxy resin produced by carrying out photo-curing of a kind as which a polymer material which constitutes said clad was chosen from a mixture which consists of said structural-formula (II) - (IV) or (II) - (IV).

[0041]A manufacturing method of an optical-path sensing element of claim 17 of this invention, Have an optical waveguide possessing an inclined end side for optical-path conversion which has a desired angle of inclination, and reflection in said inclined end side is used, . [ whether



an optical path of light which spreads said optical waveguide is changed, and it is emitted outside a flat surface of this optical waveguide, and ] Or it is a manufacturing method of an optical-path sensing element which has a function which changes an optical path of light which enters from the outside of a flat surface of this optical waveguide, and is combined to this optical waveguide, When one side cuts at least by applying vertically a predetermined braid of the edge of a blade by which the angle inclination was carried out to said optical waveguide, a single-sided inner surface forms a slot of the shape of V used as an inclined end side of said request in said optical waveguide at least.

[0042]A manufacturing method of an optical-path sensing element of claim 18 of this invention performs cutting with said braid in a method of said claim 17 using a dicing saw.

[0043]A manufacturing method of an optical-path sensing element of claim 19 of this invention sets up smaller than an angle of inclination of a request of said inclined end side to a field vertical to an optic axis of said optical waveguide an angle of inclination of said edge of a blade in a method of said claim 17 or 18.

[0044]in a method of said claim 19, a manufacturing method of an optical-path sensing element of claim 20 of this invention is looked like [ an optic axis of said optical waveguide ], and sets up smaller 0 degree - 2 degrees than an angle of inclination of a request of an inclined end side to a vertical field an angle of inclination of said edge of a blade

[0045]In one method of said claims 17 thru/or 20, a diamond blade which has a diamond grain whose mean particle diameter is 1 micrometer - 5 micrometers is used for a manufacturing method of an optical-path sensing element of claim 21 of this invention as a braid used for said cutting.

[0046]In one method of said claims 17 thru/or 21, as for a manufacturing method of an optical-path sensing element of claim 22 of this invention, said optical waveguide constitutes a core and a clad from textile-glass-yarn material.

[0047]In one method of said claims 17 thru/or 21, a manufacturing method of an optical-path sensing element of claim 23 of this invention constitutes a core of said optical waveguide from textile-glass-yarn material, and constitutes a clad from a polymer material.

[0048]A manufacturing method of an optical-path sensing element of claim 24 of this invention constitutes a core and a clad of said optical waveguide from a polymer material in one method of said claims 17 thru/or 21.

[0049]A manufacturing method of an optical-path sensing element of claim 25 of this invention, In a method of said claim 24, use a polymer material which constitutes said core and a clad as polymers expressed with said structural-formula (I), respectively, and let a polymer material which constitutes said clad be what has a refractive index smaller than a polymer material of said core.

[0050]A manufacturing method of an optical-path sensing element of claim 26 of this invention,

A mixture which consists of said structural-formula (II) - (IV) a polymer material which constitutes said core and a clad in a method of said claim 24, respectively, Or consider it as an epoxy resin produced by carrying out photo-curing of a kind chosen from (II) - (IV), and let a polymer material which constitutes said clad be what has a refractive index smaller than a polymer material of said core.

[0051]A manufacturing method of an optical-path sensing element of claim 27 of this invention, In a method of said claim 24, a polymer material which constitutes said core and a clad, A polysiloxane which has a repeating unit expressed with said structural-formula (V) or (VI), respectively, Or consider it as polymers chosen from a copolymerization polysiloxane of a repeating unit expressed with the structural-formula (V) or (VI), and a group which consists of these mixtures, and let polymers material which constitutes said clad be what has a refractive index smaller than a polymer material of said core.

[0052]A manufacturing method of an optical-path sensing element of claim 28 of this invention, A polymer material which constitutes said core is used as polymers expressed with said structural-formula (I) in a method of said claim 24, It was considered as an epoxy resin produced by carrying out photo-curing of a kind chosen from a mixture which consists of said structural-formula (II) - (IV) or (II) - (IV) in a polymer material which constitutes said clad.

[0053]A manufacturing method of an optical-path sensing element of claim 29 of this invention, In a method of said claim 24, a polymer material which constitutes said core, A polysiloxane which has a repeating unit expressed with said structural-formula (V) or (VI), Or a copolymerization polysiloxane of a repeating unit expressed with the structural-formula (V) or (VI), And it is considered as polymers chosen from a group which consists of these mixtures, and is considered as polymers produced by carrying out photo-curing of a kind chosen from a mixture which consists of said structural-formula (II) - (IV) or (II) - (IV) in a polymer material which constitutes said clad.

[0054]In one method of said claims 24 thru/or 29, after a manufacturing method of an optical-path sensing element of claim 30 of this invention forms said inclined end side, it hits a trowel heated to an elevated temperature to this inclined end side, and smooths this inclined end side surface.

[0055]In a method of said claims 24 thru/or 30, after a manufacturing method of an optical-path sensing element of claim 31 of this invention forms said inclined end side, it immerses this inclined end side into an organic solvent, and smooths this inclined end side surface.

[0056]In one method of said claims 22 and 23, after a manufacturing method of an optical-path sensing element of claim 32 of this invention forms said inclined end side, it immerses this inclined end side into fluoric acid buffer solution, and smooths this inclined end side surface.

[0057]A manufacturing method of an optical-path sensing element of claim 33 of this invention coats this inclined end side with metal after said inclined end side formation in one method of

said claims 17 thru/or 32.

[0058]A manufacturing method of an optical-path sensing element of claim 34 of this invention is characterized by said optical waveguide being a flat-surface type optical waveguide in one method of said claims 17 thru/or 33.

[0059]A manufacturing method of an optical-path sensing element of claim 35 of this invention is characterized by said optical waveguide being an optical fiber in one method of said claims 17 thru/or 33.

[0060]A manufacturing method of an optical-path sensing element of claim 36 of this invention, In a method of said claim 35, a tip part containing a cutting part of said optical fiber is fixed on a planar substrate using an adhesive film, and it cuts by applying vertically a braid with which an angle of inclination was provided in the edge of a blade after that to this optical fiber.

[0061]A manufacturing method of an optical-path sensing element of claim 37 of this invention is characterized by said adhesive film being an ultraviolet-rays resolvable-type adhesive film in a method of said claim 36.

[0062]A manufacturing method of an optical-path sensing element of claim 38 of this invention, In a method of said claim 35, a tip part containing a cutting part of said optical fiber is fixed on a planar substrate using ultraviolet curing resin or heat-curing resin, and it cuts by applying vertically a braid with which an angle of inclination was provided in the edge of a blade after that to this optical fiber.

[0063]A braid for optical-path sensing-element production of claim 39 of this invention, Have an optical waveguide possessing an inclined end side for optical-path conversion which has a desired angle of inclination, and reflection in said inclined end side is used, In production of an optical-path sensing element which has a function which changes an optical path of light which spreads said optical waveguide, changes an optical path of light which is emitted outside a flat surface of this optical waveguide, or enters from the outside of a flat surface of this optical waveguide, and is combined to this optical waveguide, It is a braid for optical-path sensing-element production for forming by cutting using a dicing saw of said inclined end side, and is characterized by a thing of the edge of a blade done [ one side ] for the angle inclination of predetermined at least.

[0064]A braid for optical-path sensing-element production of claim 40 of this invention is set up in a braid of said claim 39 smaller than an angle of inclination of a request of said inclined end side to a field where an angle of inclination of said edge of a blade is vertical to an optic axis of said optical waveguide.

[0065]an angle of inclination of said edge of a blade looks like [ an optic axis of said optical waveguide ] a braid for optical-path sensing-element production of claim 41 of this invention, and it is set up smaller 0 degree - 2 degrees than an angle of inclination of a request of an inclined end side to a vertical field

[0066]A braid for optical-path sensing-element production of claim 42 of this invention has a diamond grain whose mean particle diameter is 1 micrometer - 5 micrometers as an abrasive grain.

[0067]

[Embodiment of the Invention]This invention is explained in more detail based on a drawing.

[0068]First, the example of the manufacturing method is explained using a drawing about the optical-path sensing element which consists of a flat-surface type polymer light guide which has a micro mirror 45 degrees in the single-sided end face as an optical-path sensing element.

[0069]Drawing 5 shows the plan of the flat-surface type polymer light guide produced on the substrate 1. The A-A' line in drawing 5 expresses the position which will form a micro mirror from now on, and the marker 2 for alignment is made by the neighborhood at the time of flat-surface type optical waveguide production.

[0070]Drawing 6 expresses the sectional view cut along the B-B' line on the core 3 of the flat-surface type optical waveguide shown in drawing 5. Four express an upper clad among a figure and 5 expresses a lower clad. If the edge of a blade cuts using the diamond blade 40 of this invention processed into about 90 degrees as the marker 2 is made a mark and it is shown in drawing 7 along an A-A' line, V groove 12a which has the inclined end sides (micro mirror) 6 and 6 will be formed in a flat-surface type optical waveguide.

[0071]Cutting is good to use cutting machines, such as a dicing saw used for logging of an LSI chip etc. Since it possesses the highly efficient stage, the dicing saw can also cut a horizontal direction and a height direction with the accuracy of position of a submicron order, if such a dicing saw is used. As a dicing saw used here, the general-purpose dicing saw used for logging of an LSI chip etc. may be used, and what is necessary is just to change a braid into the braid of this invention.

[0072]The point which does not need a device special to a sample fixing method etc. is one of the big advantages of this invention. Here, what is necessary is just to make the depth of cutting deeper than the interface of the core 3 and the lower clad 5, it may be stopped in the lower clad 5, and even the substrate 1 may cut it deeply. Thus, when it uses choosing the braid of suitable construction material, the point that an elastic material like polymers, a hard material like silicon or glass, and composite materials, such as polymers on a silicon substrate, are simultaneously processible is one of the advantages of cutting. The diamond blade with fine particle diameter, Since it has the delicacy which is used for polish of optics, such as a lens, and which is equal to abrasive paper with fine eyes very much, the work process of cutting by using a braid with such a fine eye, There is an effect equivalent to the shaving broth of an inclined end side and performing the quality surface polish of an optical grade simultaneously. Therefore, the processed surface where smoothness is dramatically high can

be acquired.

[0073]If it exfoliates from the substrate 1, an optical waveguide film with a 45-degree micro mirror as shown in drawing 8 can do the flat-surface type optical waveguide in which the micro mirror was formed. A 45-degree micro mirror has a function which carries out optical-path conversion of the light 7 which spreads a flat-surface type optical waveguide 90 degrees caudad, as shown in drawing 8. This 45-degree micro mirror has a function which carries out optical-path conversion of the light 8 which has spread space from the lower part 90 degrees conversely, and is combined with a flat-surface type optical waveguide.

[0074]When the substrate 1 is made of construction material which penetrates lights, such as glass, It can exfoliate and it is not necessary to necessarily make a flat-surface type optical waveguide into film state, and as shown in drawing 9, it can use as a flat-surface type optical waveguide which has the function to perform optical-path conversion for the internal propagation light 10 or the external incident light 11 90 degrees in respect of [ 9 ] an inclined end, respectively attach [ the substrate 1 ]. In order to form V groove 12b of the shape which consists of the inclined end side 9 as shown in this drawing 9, and the almost vertical field 9a which counters this inclined end side 9 in the middle of a flat-surface type optical waveguide, As a braid to be used, the sectional shape needs to choose the braid with which other sides were made almost vertical, while only one side inclines.

[0075]So far, the composition of this invention was briefly explained about the case where the optical-path sensing element of this invention consists of a flat-surface type optical waveguide. Next, the composition of this invention is explained about the case where the optical-path sensing element of this invention consists of optical fibers.

[0076]The example of the manufacturing method of the optical-path sensing element which consists of an optical fiber which has an inclined end side mirror 45 degrees is explained to one side using a drawing.

[0077]Drawing 10 (A) is a plan of the optical fiber by which the tip part was fixed on the substrate. The tip part of the optical fiber 22 in which 21 exfoliated the substrate among the figure, 22 exfoliated the optical fiber, and 23 exfoliated covering, and 24 are the adhesive films for fixing the tip part 23 of an optical fiber. A-A' expresses the position which should form an inclined end side mirror.

[0078]Drawing 10 (B) is a sectional view in A-A' of drawing 10 (A). 25 is a core of an optical fiber and 26 is a clad.

[0079]As shown in drawing 10 (A) thru/or (B), the optical fiber 22 is being fixed with the adhesive film 24 on the substrate 21 in the tip part 23. Here, as the substrate 21, the existing film etc. of the flexibility made by thin resin can be used not to mention hard substrates, such as silicon, glass or thick resin.

[0080]Then, if the edge of a blade cuts using the diamond blade of this invention processed

into V type in which the section is about 90 degrees as shown in drawing 11 along with A-A', as shown in drawing 11 (A), the inclined end side mirror 27 will be formed in the end face of the optical fiber 22 45 degrees.

[0081]Cutting is good to use cutting machines, such as a dicing saw used for logging of an LSI chip etc., as mentioned above. The point which does not need a device special to a sample fixing method etc. is one of the big advantages of this invention like the case in the above-mentioned flat-surface type optical waveguide.

[0082]When it uses selecting the braid of suitable construction material, an elastic material like polymers, The point that a hard material like silicon or glass and composite materials, such as a textile-glass-yarn optical fiber fixed with the adhesives of resin on the silicon substrate and an optical fiber sheet in which the optical fiber of textile glass yarn was fixed in resin, are simultaneously processible is one of the advantages of cutting. Therefore, this invention method can be used also for the optical fiber which uses a plastic as a clad and to which it makes textile-glass-yarn material with a core the optical fiber of textile glass yarn, and a plastic optical fiber. It can use, even if the substrate which fixes an optical fiber is silicon, it is the material of textile glass yarn and it is the material of a resin system.

[0083]Further again the diamond blade with fine particle diameter, Since it has the delicacy which is used for polish of optics, such as a lens, and which is equal to abrasive paper with fine eyes very much, by using a braid with such a fine eye, The work process of cutting has an effect equivalent to the shaving broth of an inclined end side, and performing the quality surface polish of an optical grade simultaneously. Therefore, the processed surface where smoothness is dramatically high can be acquired.

[0084]If the adhesive film 24 is exfoliated and the optical fiber 22 and the substrate 21 are separated after forming an inclined end side mirror, an optical fiber with an inclined end side mirror as shown in drawing 11 (B) is producible. The 45-degree inclined end side mirror 27 has a function which carries out optical-path conversion of the light 28 which spreads the optical fiber 22 90 degrees caudad, as shown in drawing 11 (B). This 45-degree inclined end side mirror 27 has a function which carries out optical-path conversion of the light 29 which has spread space from the lower part 90 degrees conversely, and is combined with an optical fiber. When the substrate 21 is made of construction material which penetrates lights, such as glass and transparent resin, it is not necessary to necessarily exfoliate the adhesive film 24, and can use as an optical fiber which has an optical-path conversion function 90 degrees like drawing 11 (A) attach [ the substrate 21 ].

[0085]Usually, covering is attached to the optical fiber for reinforcement. In the above-mentioned example, covering of the cutting part exfoliated, before fixing on a substrate, but it is not necessary to necessarily exfoliate a priori. As mentioned above, since the method of this invention is applicable even if it is a composite material like the material which consists of

glass and resin, it can fix on a substrate the optical fiber to which covering is attached, and can also produce an inclined end side by cutting. However, since covering near the inclined end side will interrupt the light which carries out ON outgoing radiation to an optical fiber via an inclined end side mirror when covering material is inferior to transparency, in such a case, covering of an optical fiber tip part is exfoliated after cutting.

[0086]In order to perform the above-mentioned adhesive film peeling process efficiently, it is necessary to select an adhesive film with suitable adhesive strength but, and. For example, by irradiating with ultraviolet rays after cutting, if you use the ultraviolet-rays resolvable-type adhesive film etc. in which adhesives decompose and adhesive strength declines by absorbing ultraviolet rays, since a film can be exfoliated easily, it is convenient.

[0087]Or instead of an adhesive film, adhesives, such as ultraviolet curing resin and heat-curing resin, may be used, and an optical fiber may be fixed. In this case, the partition process of the optical fiber after cutting and a substrate may be performed by melting said adhesives with a solvent, or may exfoliate from a substrate the whole adhesives. In this case, when the substrate 1 is made of material which penetrates lights, such as glass and transparent resin, It can exfoliate, is not necessary to necessarily separate an optical fiber and a substrate, and can use as an optical fiber which has a mechanism in which optical-path conversion is performed for internal propagation light or external incident light 90 degrees in respect of [ 27 ] an inclined end like drawing 11 (A), respectively attach [ the substrate 21 ].

[0088]In the above, the composition of this invention in case the optical-path sensing element of this invention consists of optical fibers was explained briefly.

[0089]Naturally in the optical-path sensing element of the above composition, the smooth nature of an inclined plane which influences the reflectance of the inclined end side mirror (micro mirror) is mostly determined with the fineness of the eye of the blade surface to be used. The more the particle size of the diamond grain which forms the braid to be used fundamentally is fine, the more a smoother mirror surface is acquired, but. If the braid which is too too fine is used, blinding will be caused and the problem of cutting being able to be impossible, or a braid not being exhausted for a short period of time, or being unable to gather cutting speed will arise. Therefore, it is very important when performing mirror processing with good selecting a suitable braid.

[0090]The relation of the top speed which can process a good mirror surface and which can be cut is shown without starting inconvenience, such as mean particle diameter of the diamond grain contained in the braid used for cutting at drawing 12, reflection efficiency in a mirror surface, and blinding.

[0091]When the mean particle diameter of a diamond grain is more than 15 micrometer (set which is the particle diameter of 10-20 micrometers), the roughness of a mirror surface is large and reflection efficiency is not filled to 50%, either. Reflection efficiency becomes high, and

when a braid with a mean particle diameter of 5 micrometers (set with a particle diameter of 4-6 micrometers) is used, the reflection efficiency of about 80% is acquired as mean particle diameter becomes small. If a particle size is furthermore made fine and mean particle diameter becomes fine to a 1.5-micrometer (set which is particle diameter of 0-3 micrometers) grade, a mirror surface will become smooth optical enough and the high reflection efficiency of not less than 95% will be acquired. If the braid of finer particle diameter is used, a mirror surface will become smoother, but since it is in a saturation region as the optical characteristic, the improvement in the reflection efficiency beyond it is small. Therefore, as for mean particle diameter, if it takes into consideration from a point of reflection efficiency, it is desirable to process it using a braid of 5 micrometers or less.

[0092]On the other hand, since the braid with a fine particle size is inferior to cutting force compared with a coarse braid, generally, working speed becomes slow and the life of a braid also becomes short. However, when the braid more than the mean particle diameter of 1 micrometer (set with a particle diameter of 0-2 micrometers) is used so that drawing 12 may show, it is possible to process it with 1 mm/s or the cutting speed beyond it, and it is possible that it is practical enough. Therefore, as for mean particle diameter, if it thinks from a point of processing efficiency, it is desirable to process it using a braid of 1 micrometers or more. Thus, the point that the mean particle diameter of the diamond grain is 5 micrometers or less in 1 micrometers or more in the case of a diamond blade is one feature of the braid of this invention.

[0093]When the both sides of above-mentioned reflection efficiency and processing efficiency are considered and taken into consideration, it is desirable to process it using the braid whose average particle size is 1-5 micrometers.

[0094]In formation of said micro mirror, although a sufficiently practical optical surface is usually acquired only by a dicing process, when it is necessary to make smooth nature of a processed surface high further, and to make a higher quality optical mirror plane and reflection efficiency needs to be raised, the method shown below is effective.

[0095]When waveguide material is a polymer material, the 1st method is a method of softening the surface with heat. This can be easily performed by forcing lightly on a processed surface \*\* heated to the temperature which is a grade which the polymers of the core material of an optical waveguide soften a little. Since it does not become that it seems that softened polymers stick to \*\* in that case in the smooth surface, in the surface of \*\*, it is desirable to make the processing for prevention from adhesion, such as Teflon coating.

[0096]The 2nd method is the method of dissolving the surface lightly with a suitable solvent. This can be easily performed, when the polymers of the core material of an optical waveguide immerse a processed surface into the suitable solvent which dissolves a little.

[0097]When waveguide material is glass, the surface can be smoothed by immersing a



processed surface into fluoric acid buffer solution instead of an organic solvent, and dissolving the surface lightly.

[0098]The 3rd method is a way a diamond blade with a far fine average particle size performs final polishing of an inclined plane rather than the diamond blade used for cutting which forms an inclined plane. After this method forms the slot which has the target inclined plane by cutting, it exchanges braids, can only perform final polishing, and can fully improve the smooth nature of a processed surface. Therefore, according to this method, in order to raise the smooth nature of a processed surface, it is not necessary to move a waveguide to a separated process, and there is an advantage to which a process becomes simple.

[0099]The inclined end side which has the extremely outstanding smooth nature by the above-mentioned method of processing either can be formed. It is because a V groove is formed in an optical waveguide for the work which raises the smooth nature of such a processed inclined end side to be possible, as a result of cutting with a braid, in order to form the inclined plane used as a micro mirror. That is, it is because shape in which the upper part of the inclined plane is opened wide greatly is realized near the mirror surface of an optical waveguide. Therefore, in the optical-path sensing element of this invention which formed the inclined plane by such a V groove. As mentioned above, various means to smooth an inclined plane can be performed easily, and mirror plane processing of an inclined plane can also be easily realized like the after-mentioned, and the advantage on V Mizouchi's, i.e., a mirror surface, mounting that optoelectronic devices, such as a photo detector and a light emitting device, can be installed very much in the neighborhood is also acquired.

[0100]Although an inclined end side can be substantially smoothed by the above-mentioned processing method, depending on the value of the refractive index of the angle of inclination of an inclined end side, a core, and a clad, the total reflection condition in an inclined end side may not still be fulfilled to no guided modes. In such a case, since it penetrates without reflecting the light of a part of higher modes in an inclined end side, reflection efficiency of 100% cannot be acquired theoretically. In this case, the method of coating a processed surface with the metal of high reflectance, such as gold, silver, and aluminum, by vacuum evaporation etc. is effective. The reflection efficiency near 100% can be acquired by coating these high reflection films.

[0101]In order to double with accuracy sufficient at the angle of a request of the angle of inclination of said inclined end side, i.e., the angle of inclination of a micro mirror, it is important to grasp the relation between the angle of the edge of a blade of a braid and the angle of the actually processed inclined end side. Usually, the angle of the V groove produced by processing becomes large a little from the angle of the edge of a blade of the braid used for processing. This is considered to be the causes with main size error of the hoop direction of a braid and vibration at the time of operation of a dicing saw.

[0102]The relation of the vertical angle of the braid used for processing and the vertical angle of the actually processed V groove is shown in drawing 13. When the braid of a proper particle size is used, the vertical angle of a V groove becomes larger about 2 times than the vertical angle of a braid, and dispersion is controlled within 2 times. Therefore, if a vertical angle processes it using the braid which is 88 degrees, the mirror which has an angle of inclination of 45 angles of inclination is producible with sufficient reproducibility in the accuracy of  $\pm 1$  time. Thus, it is less than one error and the micro mirror of a desired angle of inclination can be formed. "The braid of a proper particle size" said here shows the thing of the braid of this invention of 1 micrometers or more with the mean particle diameter of 5 micrometers or less mentioned above. Since the conversion difference of a braid vertical angle and a V groove vertical angle becomes larger, it varies and a repetition error also becomes large when a braid with a coarser particle size is used, it becomes difficult to control the angle of inclination of a mirror with high precision. Therefore, even if it takes into consideration from a viewpoint of control of a mirror angle of inclination, it is desirable to process it using a braid with a mean particle diameter of 5 micrometers or less. One feature of the braid of this invention is that the mean particle diameter of the composition diamond particle is 1-5 micrometers as mentioned above. Other features of the braid of this invention are formed in 44 degrees, when the side face inclination angle of the braid which forms an inclined plane wants to produce a mirror (desired angle)-1 degree, i.e., 45 degrees, from a relation with the process tolerance of the above-mentioned angle of inclination. Therefore, when forming a symmetrical type V groove, when a  $\{(desired\ angle) - 1\} \times 2$  degree, i.e., 45 degrees, mirror is a request, it is best [ the degree of knife angle of a braid ] to set it as 88 degrees. Since the angle of inclination of a mirror needs to control within  $\pm (desired\ angle) 2$  times in order to provide a practical mirror, if this is taken into consideration, the side face inclination angle of a braid must be set as below more than  $\{(desired\ angle) - 2\ degree\} (desired\ angle)$ .

[0103]In the case of a flat-surface type optical waveguide, as shown in drawing 14, the optical-path sensing element produced as mentioned above, for example, The optical path of the laser beam 44 emitted from the surface emission-type laser 43 similarly carried on the mounting board 42 by being carried on the mounting board 42 is changed according to the inclined end side 6, To the optical transmitting module which combines with an optical waveguide and is made into the propagation light 45a, and reverse, as shown in drawing 15, By being carried on the mounting board 46, the optical path of the light 47 which guides the inside of an optical waveguide can be changed according to the inclined end side 6, and it can use as parts which the optical receiving module etc. which are combined with the photo-diode 49 similarly carried on the mounting board 46 constitute.

[0104]Similarly, in the case of an optical fiber, as shown in drawing 16, by being carried on the mounting board 42, To the optical transmitting module which changes the optical path of the

laser beam 44 emitted from the surface emission-type laser 43 similarly carried on the mounting board 42 according to the inclined end side 27, is combined with an optical fiber, and is made into the propagation light 45b, and reverse, as shown in drawing 17. By being carried on the mounting board 46, optical-path conversion of the optical path of the light 48 which guides the inside of an optical fiber can be carried out according to the inclined end side 27, and it can be emitted caudad, and can use as parts which constitute the optical receiving module etc. which are combined with the photo-diode 49 carried on the mounting board 46.

[0105] Instead of using the braid 40 of a double-edged sword as shown in drawing 7, a micro mirror can also be formed using the braid 50 of single edge as shown in drawing 18. For example, if a vertical angle forms a micro mirror in the optical waveguide of drawing 6 by cutting using the braid 50 of single edge which is about 44 degrees, the optical waveguide with a micro mirror of 45 degrees as shown in drawing 9 will be made. However, since the total reflection condition is not fulfilled in the inclined end side 9 in the case of this type of mirror, in order to acquire high reflection efficiency, it is necessary to coat the inclined end side 9 with the metal of high reflectance, such as gold, silver, and aluminum. Since it is the shape which modification V groove 12b which has realized the inclined end side 9 expanded to the opening side, it is very much easy to perform this coating work. Since this is also the same as when a V groove is symmetrical V groove 12a like symmetrical-shaped drawing 7 and working clearance is still larger in this symmetrical V groove 12a, it is easier to work.

[0106] The big point of difference in the function of the micro mirror 9 of the type of drawing 9 and the micro mirror 6 of the type of drawing 7 is a point that the direction which changes an optical path is reverse. The micro mirror of drawing 9 has a function which carries out optical-path conversion of the light 10 which has spread the optical waveguide to an opposite direction in the upper part 1, i.e., a substrate. Of course, it also has a function which carries out optical-path conversion of the light 11 spread from the upper part of the substrate 1 conversely, and is combined with an optical waveguide. Therefore, by installing the light emitting device 43 the optical waveguide surface or in V groove 12b, as shown in drawing 19, constitute an optical transmitter, or as shown in drawing 20, constitute an optical receiver by installing the photo detector 49 the optical waveguide surface or in V groove 12b, or, Or a lamination type optical waveguide with the two waveguides 51a and 51b like drawing 21 can be made by putting further an optical waveguide with a micro mirror like drawing 8 on the surface.

[0107] However, there is a problem of being easy to produce the light which returns to the incidence side in this type of mirror, for the Fresnel reflection produced in the vertical end face 9a which constitutes modification V groove 12b formed by cutting. That is, there is a problem that the rate of reflection attenuation as an element is bad. For example, if the refractive index of a core is set to 1.490, since about 3.9% of Fresnel reflection will arise in the vertical end face 9a, if the propagation loss of an optical waveguide is disregarded, the rate of reflection

attenuation detected in an incidence edge will be set to abbreviation-14dB.

[0108]In order to solve this problem, there are two methods shown below.

[0109]The 1st method is making the waveguide end face 9a into the end face 52 which made only few angles theta incline to a vertical plane, as shown in drawing 22. By attaching the inclination of the angle theta, the optical path 53 of catoptric light receives the deviation of the angle 2 theta compared with the optical path 54 when not attaching an inclination. If this is used, by choosing theta suitably, catoptric light can be made to be able to emit out of a waveguide, and the rate of reflection attenuation can be improved as a result.

[0110]The angle which the waveguide light which can spread the inside of a waveguide makes with a waveguide optic axis is  $\cos^{-1}(n_{\text{clad}}/n_{\text{core}})$  in the total reflection condition in a core / clad interface to the maximum, when the refractive index of a core and a clad is made into  $n_{\text{core}}$  and  $n_{\text{clad}}$ , respectively. Therefore, if theta is set up more greatly than  $\cos^{-1}(n_{\text{clad}}/n_{\text{core}})$ , all the catoptric light can be made to emit out of a waveguide. When the numerical aperture (NA) of this value is a single mode waveguide of about 0.1, If a not less than 9-degree inclination is attached [ in the case of a single mode waveguide ] in the case of not less than 6 degrees and a multi-mode waveguide since it is about 8 degrees - 9 degrees when about 5 degrees to 6 degrees and a numerical aperture (NA) are the multi-mode waveguides of about 0.2, the rate of reflection attenuation can be made to decrease sharply.

[0111]However, since some of catoptric light is emitted even if theta is an angle smaller than the aforementioned angle, sufficient effect is demonstrated depending on requirements. Since the light volume which penetrates this field will decrease if not much large, it becomes a factor in which the loss as an optical-path sensing element increases. The theta dependency of transmissivity and the rate of reflection attenuation is shown in drawing 23. If theta is 1 degrees or more, the rate of reflection attenuation becomes less than -20dB. If 30 degrees is exceeded, transmissivity will decrease rapidly. As for theta, since the rate of reflection attenuation of -20 dB or less and the transmissivity of not less than 90% are called for in order to produce a practical light corpuscle child, it is effective to set up in [ 1 degree or more ] 30 degrees or less. In order to form such a modification V groove, it is necessary to make the vertical side of a single-edge braid incline within the limits of 1 degree - 30 degrees, and a such-shaped single-edge braid is also an example of a changed completely type of the braid of this invention.

[0112]As mentioned above, although the micro mirror of the type of drawing 9 can improve the rate of reflection attenuation as an element by giving a slight inclination to the vertical end face, Since refraction arises in this interface when the end face 52 has an inclination, what it should be careful of here is that the deflection angle of the optical path by a mirror changes.

[0113]Drawing 24 is a figure explaining change of the deflection angle of the optical path by

the inclination of the end face 52. When vertical, namely, when the end face is  $\theta = 0$  degree to a waveguide optic axis, the beam of light 10 spread in accordance with a waveguide optic axis spreads a course as shown with the wavy line 60-→61. Here, the deflection angle of an optical path is  $2\phi$  when the angle which the inclined end side 9 and a waveguide optic axis make is set to  $\phi$ . Namely, what is necessary is to just be referred to as  $\phi = \phi/2$  if you would like to perform optical-path conversion of  $\phi$ . On the other hand, if the refractive index of a core is made into  $n_{\text{core}}$  when the end face 52 has an inclination of  $\theta$  to the vertical axis, only  $\sin^{-1}(n_{\text{core}} \sin \theta) - \theta$  will be deflected by refraction by refraction and the beam of light 10 will spread the course shown in 62-→63. Therefore, it is necessary to set the deflection angle of the incident light 10 and the emitted light 63 to  $2\phi + \{\sin^{-1}(n_{\text{core}} \sin \theta) - \theta\} / 2$ .

That is, the angle of inclination  $\phi$  of the inclined end side 52 needs to amend only  $\{\sin^{-1}(n_{\text{core}} \sin \theta) - \theta\} / 2$  compared with the case where it is  $\theta = 0$  degree.

[0114]As the 2nd method is shown in drawing 25, after coating the inclined end side 9 with high reflection films, such as gold, it is a method that the gap of the waveguide end face 52 and the inclined end side 9 is filled up with the resin 70 with an almost equal refractive index, etc. The Fresnel reflection which the medium in V groove 12b produces by being transposed to the resin 70 from air in the waveguide end face 52 can be made to decrease sharply. For example, the Fresnel reflection produced from this field even when  $\theta = 0$  degree, i.e., the end face, does not have an inclination, if the refractive index of a core and the resin 70 sets to 1.49 and 1.485, respectively, Since it decreases sharply with 3.7 to 0.00028%, the rate of reflection attenuation can be made to decrease sharply with -14dB to -55 dB. Of course, if it makes it serve a double purpose to make the above-mentioned waveguide end face 52 incline, a thing effective in addition cannot be overemphasized. Change of the deflection angle of the optical path by the above-mentioned refraction can be made small. If the refractive index of the resin 70 is made into  $n_{\text{resin}}$ , change of the deflection angle of an optical path will be set to  $\sin^{-1}\{(n_{\text{core}}/n_{\text{resin}}) \sin \theta\} - \theta$ . There is an effect which protects the mirror surface 9 in this resin 70.

[0115]According to the manufacturing method of the optical-path sensing element of this invention which consists of a flat-surface type optical waveguide explained above, a micro mirror is selectively producible in the arbitrary positions of not only processing that has been cut so that the whole element may be crossed but an optical waveguide. For example, as shown in drawing 26, when a micro mirror needs to be formed in the position of 72, 73, and 74 of a Y branch optical waveguide, by the usual cut processing method, a microtome etc. When processing the position of 73, in order to cut along with CC', it cannot but cut to another

waveguide, but the partial thing to do for mirror processing is possible, without damaging other waveguides, if it is a part distant about several millimeters when it is cutting.

[0116]the relation between the V groove formed in the optical waveguide explained above, and the braid which forms this V groove -- and, About filling up with resin an operation of the construction material characteristic of a braid, a shape property, and the optical waveguide that has an inclined end side further, and a V groove, and adjusting a refraction deflection angle, it is the same and, also in the case of an optical-path sensing element [ optical fiber type ], the explanation by an optical fiber is omitted.

[0117]As explained above, if the method of producing the optical-path sensing element by this invention is used, a highly efficient reflection type optical-path sensing element is with high precision and easily producible.

[0118]

[Example]Hereafter, although an example explains this invention still in detail, this invention is not limited to these examples.

[0119](Example 1) The flush type optical waveguide which uses polymethylmethacrylate as a core and uses an epoxy resin as a clad was produced on the silicon substrate. The refractive indices of a core and a clad are 1.490 and 1.475, respectively, and the sectional shape of a core is 40 micrometers in width, and a 40-micrometer-high rectangle. Using the braid 82 processed into V type of 88 vertical angles as the sectional shape of the edge of a blade shows to drawing 27, by cutting one end of said optical waveguide just before a substrate face, an inclined end side is formed and it starts in 5 cm in length, and a 1-cm-wide size after an appropriate time.

Then, the film waveguide type optical-path sensing element as shown in drawing 28 was produced by \*\* exfoliating.

[0120]The conversion angle was 90 degrees when the conversion angle of the optical path was measured by entering the laser beam 76 with a wavelength of 0.85 micrometer, and measuring the intensity distribution in the long-sight field of the catoptric light 78 reflected in respect of [ 77 ] the inclined end from the end face 75 where the produced film waveguide type optical-path sensing element is vertical. It was 83% when the reflection efficiency of the mirror was measured by measuring the total light intensity of the catoptric light with a photodetector.

[0121](Example 2) After hitting the trowel heated to 180 temperature to the inclined end side 77 of the film waveguide type optical-path sensing element produced by the same method as Example 1 and taking flattening measures, when the optical-path conversion angle by an inclined end side mirror and reflection efficiency were measured, they were 90 degrees and 85%, respectively.

[0122](Example 3) After immersing the inclined end side 77 of the film waveguide type optical-

path sensing element produced by the same method as Example 1 in methyl isobutyl ketone and taking flattening measures, when the optical-path conversion angle by an inclined end side mirror and reflection efficiency were measured, they were 90 degrees and 85%, respectively.

[0123](Example 4) After immersing the inclined end side 77 of the film waveguide type optical-path sensing element produced by the same method as Example 1 in chlorobenzene and taking flattening measures, when the optical-path conversion angle by an inclined end side mirror and reflection efficiency were measured, they were 90 degrees and 85%, respectively.

[0124](Example 5) Gold was vapor-deposited to the inclined end side 77 of the film waveguide type optical-path sensing element produced by the same method as Example 1. When the optical-path conversion angle by an inclined end side mirror and reflection efficiency were measured after an appropriate time, they were 90 degrees and 97%, respectively.

[0125](Example 6) Silver was vapor-deposited to the inclined end side 77 of the film waveguide type optical-path sensing element produced by the same method as Example 1. When the optical-path conversion angle by an inclined end side mirror and reflection efficiency were measured after an appropriate time, they were 90 degrees and 96%, respectively.

[0126](Example 7) Aluminum was vapor-deposited to the inclined end side 77 of the film waveguide type optical-path sensing element produced by the same method as Example 1. When the optical-path conversion angle by an inclined end side mirror and reflection efficiency were measured after an appropriate time, they were 90 degrees and 90%, respectively.

[0127](Example 8) The flush type optical waveguide which uses polymethylmethacrylate as a core and uses an epoxy resin as a clad was produced on the silicon substrate. The refractive indices of a core and a clad are 1.490 and 1.475, respectively, and the sectional shape of a core is 40 micrometers in width, and a 40-micrometer-high rectangle. Using the braid 83 processed into V type of 93 vertical angles as shown in drawing 29, by cutting one end of said optical waveguide just before a substrate face, the sectional shape of the edge of a blade forms an inclined end side, and starts in 5 cm in length, and a 1-cm-wide size after an appropriate time.

Then, the film waveguide type optical-path sensing element was produced by \*\* exfoliating.

[0128]The conversion angle was 85 degrees when the conversion angle of the optical path was measured by entering a laser beam with a wavelength of 0.85 micrometer and measuring the intensity distribution in the long-sight field of catoptric light reflected in respect of the inclined end from the end face where the produced film waveguide type optical-path sensing element is vertical. It was 95% when the reflection efficiency of the mirror was measured by measuring the total light intensity of the catoptric light with a photodetector.

[0129](Example 9) After hitting the trowel heated to 180 temperature to the inclined end side of the film waveguide type optical-path sensing element produced by the same method as



Example 8 and carrying out flattening processing, when the optical-path conversion angle by an inclined end side mirror and reflection efficiency were measured, they were 85 degrees and 97%, respectively.

[0130](Example 10) After immersing the inclined end side of the film waveguide type optical-path sensing element produced by the same method as Example 8 in methyl isobutyl ketone and carrying out flattening processing, when the optical-path conversion angle by an inclined end side mirror and reflection efficiency were measured, they were 85 degrees and 97%, respectively.

[0131](Example 11) After immersing the inclined end side of the film waveguide type optical-path sensing element produced by the same method as Example 8 in chlorobenzene and taking flattening measures, when the optical-path conversion angle by an inclined end side mirror and reflection efficiency were measured, they were 85 degrees and 97%, respectively.

[0132](Example 12) The flush type optical waveguide which uses polymethylmethacrylate as a core and uses an epoxy resin as a clad was produced on the silicon substrate. The refractive indices of the core and the clad were 1.490 and 1.475, respectively, and the sectional shape of the core was 40 micrometers in width, and a 40-micrometer-high rectangle. Using the braid 84 processed into the wedge of 44 vertical angles as shown in drawing 30, by cutting one end of said substrate optical waveguide just before a substrate face, as shown in drawing 31, the sectional shape of the edge of a blade formed the inclined end side 99, and vapor-deposited the gold 103 to the inclined end side 99 after an appropriate time. Then, it started in 5 cm in length, and a 2-cm-wide size, and was considered as the waveguide type optical-path sensing element.

[0133]The conversion angle was 90 degrees when the conversion angle of the optical path was measured by measuring the intensity distribution in the long-sight field of the catoptric light 102 which entered and reflected the laser beam 101 with a wavelength of 0.85 micrometer in respect of [ 99 ] the inclined end from the end face 100 where the produced waveguide type optical-path sensing element is vertical. It was 96% when the reflection efficiency of the mirror was measured by measuring the total light intensity of the catoptric light with a photodetector. By measuring the luminous intensity which returns to a waveguide incident end face, when the rate of reflection attenuation was measured, it was -15dB.

[0134](Example 13) The waveguide type optical-path sensing element was produced by the same method as Example 12 except using as silver the metal vapor-deposited to an inclined end side.

[0135]The conversion angle was 90 degrees when the conversion angle of the optical path was measured by measuring the intensity distribution in the long-sight field of the catoptric light which entered and reflected the laser beam 101 with a wavelength of 0.85 micrometer in respect of the inclined end from the end face where the produced waveguide type optical-path



sensing element is vertical. It was 95% when the reflection efficiency of the mirror was measured by measuring the total light intensity of the catoptric light with a photodetector.

[0136](Example 14) The waveguide type optical-path sensing element was produced by the same method as Example 12 except making into aluminum the metal vapor-deposited to an inclined end side.

[0137]The conversion angle was 90 degrees when the conversion angle of the optical path was measured by measuring the intensity distribution in the long-sight field of the catoptric light which entered and reflected the laser beam with a wavelength of 0.85 micrometer in respect of the inclined end from the end face where the produced waveguide type optical-path sensing element is vertical. It was 89% when the reflection efficiency of the mirror was measured by measuring the total light intensity of the catoptric light with a photodetector.

[0138](Example 15) The 1x2 Y-branch flush type optical waveguide as shown in drawing 26 was used for the core, the epoxy resin was used for polymethylmethacrylate and a clad, and it produced on the silicon substrate. The overall length of a waveguide is 5 cm and the center interval of two cores after branching is 2.5 mm. The refractive indices of a core and a clad are 1.490 and 1.475, respectively, the sectional shape of a core is 40 micrometers in width, and a 40-micrometer-high rectangle, and the thickness of 20 micrometers and the upper clad of the thickness of a lower layer cladding layer is 60 micrometers (from the upper surface of a core to 20 micrometers). Using the braid 84 processed into the wedge of 44 vertical angles as shown in drawing 30, by cutting just before a substrate face, the sectional shape of the edge of a blade formed the inclined end side in the position shown in 72, 73, and 74 in drawing 26, and vapor-deposited gold after an appropriate time in it in the inclined end side. Then, on the mirror produced in the position of 72, surface emission laser with an oscillation wavelength of 0.85 micrometer was carried so that a light-emitting surface might turn to the mirror side, and on 73 and the mirror produced in the position of 74, the photo-diode was carried so that an acceptance surface might turn to the mirror side.

[0139]Make current pour in and emit light to this surface emission laser (0.80 mW), and a waveguide is spread via a micro mirror, When BAWA of the laser beam received with this photo-diode via the micro mirror was measured, the received light intensity was 0.32 mW and 0.31 mW in 73 and 74 side, respectively.

[0140](Example 16) Two kinds of deuteration / fluorination polymethacrylates (refer to : "Japanese-Patent-Application-No. 2-282023 No. gazette:plastic optical waveguide" called the polymer A and the polymer B hereafter) from which a copolymerization ratio differs were compounded. The refractive indices of the polymer A and the polymer B were 1.490 and 1.483, respectively. The flush type single mode optical waveguide which uses the polymer A as a core and uses the polymer B as a clad was produced on the silicon substrate. The sectional shape of the core was 7 micrometers in width, and a 7-micrometer-high rectangle,

and the thickness of 20 micrometers and the upper clad of the thickness of the lower layer cladding layer was 27 micrometers (from the upper surface of a core to 20 micrometers). 50 micrometers of epoxy resins were applied on the upper clad for reinforcement. Using the braid 82 processed into V type of 88 vertical angles as shown in drawing 27, by cutting one end of said optical waveguide just before a substrate face, the sectional shape of the edge of a blade forms an inclined end side, and starts in 5 cm in length, and a 1-cm-wide size after an appropriate time.

Then, the film waveguide type optical-path sensing element was produced by \*\* exfoliating.

[0141]The conversion angle was 90 degrees when the conversion angle of the optical path was measured by measuring the intensity distribution in the long-sight field of the catoptric light which entered and reflected the laser beam with a wavelength of 1.3 micrometers in respect of the inclined end from the end face where the produced film waveguide type optical-path sensing element is vertical. It was 78% when the reflection efficiency of the mirror was measured by measuring the total light intensity of the catoptric light with a photodetector.

[0142](Example 17) After applying the trowel heated to 180 temperature to the inclined end side of the film waveguide type optical-path sensing element produced by the same method as Example 16 and taking flattening measures, when the optical-path conversion angle by an inclined end side mirror and reflection efficiency were measured, they were 90 degrees and 80%, respectively.

[0143](Example 18) After immersing the inclined end side of the film waveguide type optical-path sensing element produced by the same method as Example 16 in methyl isobutyl ketone and taking flattening measures, when the optical-path conversion angle by an inclined end side mirror and reflection efficiency were measured, they were 90 degrees and 80%, respectively.

[0144](Example 19) After immersing the inclined end side of the film waveguide type optical-path sensing element produced by the same method as Example 16 in chlorobenzene and taking flattening measures, when the optical-path conversion angle by an inclined end side mirror and reflection efficiency were measured, they were 90 degrees and 80%, respectively.

(Example 20) Gold was vapor-deposited to the inclined end side of the film waveguide type optical-path sensing element produced by the same method as Example 16. When the optical-path conversion angle by an inclined end side mirror and reflection efficiency were measured after an appropriate time, they were 90 degrees and 94%, respectively.

[0145](Example 21) Silver was vapor-deposited to the inclined end side of the film waveguide type optical-path sensing element produced by the same method as Example 16. When the optical-path conversion angle by an inclined end side mirror and reflection efficiency were measured after an appropriate time, they were 90 degrees and 92%, respectively.

[0146](Example 22) Aluminum was vapor-deposited to the inclined end side of the film

waveguide type optical-path sensing element produced by the same method as Example 16. When the optical-path conversion angle by an inclined end side mirror and reflection efficiency were measured after an appropriate time, they were 87 degrees and 89%, respectively.

[0147](Example 23) Two kinds of deuteration polysiloxanes (refer to : "Japanese-Patent-Application-No. 2-282023 No. gazette:plastic optical waveguide" called the polymer C and the polymer D hereafter) from which a copolymerization ratio differs were compounded. The refractive indices of the polymer C and the polymer D are 1.545 and 1.537, respectively. The flush type single mode optical waveguide which uses the polymer A as a core and uses the polymer B as a clad was produced on the silicon substrate. The sectional shape of a core is 7 micrometers in width, and a 7-micrometer-high rectangle, and the thickness of 20 micrometers and the upper clad of the thickness of a lower layer cladding layer is 27 micrometers (from the upper surface of a core to 20 micrometers). 50 micrometers of epoxy resins are applied on the upper clad for reinforcement. Using the braid 82 processed into V type of 88 vertical angles as shown in drawing 27, by cutting one end of said optical waveguide just before a substrate face, the sectional shape of the edge of a blade forms an inclined end side, and starts in 5 cm in length, and a 1-cm-wide size after an appropriate time.

Then, the film waveguide type optical-path sensing element was produced by \*\* exfoliating.

[0148]The conversion angle was 90 degrees when the conversion angle of the optical path was measured by measuring the intensity distribution in the long-sight field of the catoptric light which entered and reflected the laser beam with a wavelength of 1.55 micrometers in respect of the inclined end from the end face where the produced film waveguide type optical-path sensing element is vertical. It was 80% when the reflection efficiency of the mirror was measured by measuring the total light intensity of the catoptric light with a photodetector.

[0149](Example 24) After applying the trowel heated to 400 temperature to the inclined end side of the film waveguide type optical-path sensing element produced by the same method as Example 23 and taking flattening measures, when the optical-path conversion angle by an inclined end side mirror and reflection efficiency were measured, they were 90 degrees and 83%, respectively.

[0150](Example 25) After being immersed in the anisole in the inclined end side of the film waveguide type optical-path sensing element produced by the same method as Example 23 and taking flattening measures, when the optical-path conversion angle by an inclined end side mirror and reflection efficiency were measured, they were 90 degrees and 83%, respectively.

[0151](Example 26) After immersing the inclined end side of the film waveguide type optical-path sensing element produced by the same method as Example 23 in chlorobenzene and carrying out flattening processing, when the optical-path conversion angle by an inclined end side mirror and reflection efficiency were measured, they were 90 degrees and 83%,

respectively.

[0152](Example 27) Gold was vapor-deposited to the inclined end side of the film waveguide type optical-path sensing element produced by the same method as Example 23. When the optical-path conversion angle by an inclined end side mirror and reflection efficiency were measured after an appropriate time, they were 90 degrees and 93%, respectively.

[0153](Example 28) Silver was vapor-deposited to the inclined end side of the film waveguide type optical-path sensing element produced by the same method as Example 23. When the optical-path conversion angle by an inclined end side mirror and reflection efficiency were measured after an appropriate time, they were 90 degrees and 92%, respectively.

[0154](Example 29) Aluminum was vapor-deposited to the inclined end side of the film waveguide type optical-path sensing element produced by the same method as Example 23. When the optical-path conversion angle by an inclined end side mirror and reflection efficiency were measured after an appropriate time, they were 90 degrees and 87%, respectively.

[0155](Example 30) The quartz system glass optical waveguide was produced on the quartz substrate. The refractive indices of the core and the clad were 1.473 and 1.459, respectively, and the sectional shape of the core was 40 micrometers in width, and a 40-micrometer-high rectangle. The thickness of 20 micrometers and the upper clad of the thickness of the lower layer cladding layer was 40 micrometers (from the upper surface of a core to 20 micrometers). Using the braid 82 processed into V type of 88 vertical angles as shown in drawing 27, by cutting one end of said optical waveguide just before a substrate face, the sectional shape of the edge of a blade formed the inclined end side, started in 5 cm in length, and a 1-cm-wide size after an appropriate time, and produced the waveguide type optical-path sensing element.

[0156]The conversion angle was 90 degrees when the conversion angle of the optical path was measured by measuring the intensity distribution in the long-sight field of the catoptric light which entered and reflected the laser beam with a wavelength of 0.85 micrometer in respect of the inclined end from the end face where the produced film waveguide type optical-path sensing element is vertical. It was 78% when the reflection efficiency of the mirror was measured by measuring the total light intensity of the catoptric light with a photodetector.

[0157](Example 31) After immersing the inclined end side of the waveguide type optical-path sensing element produced by the same method as Example 30 in fluoric acid buffer solution and taking flattening measures, when the optical-path conversion angle by an inclined end side mirror and reflection efficiency were measured, they were 90 degrees and 80%, respectively.

[0158](Example 32) Gold was vapor-deposited to the inclined end side of the waveguide type optical-path sensing element produced by the same method as Example 30. When the optical-path conversion angle by an inclined end side mirror and reflection efficiency were measured after an appropriate time, they were 90 degrees and 93%, respectively.

[0159](Example 33) Silver was vapor-deposited to the inclined end side of the waveguide type optical-path sensing element produced by the same method as Example 30. When the optical-path conversion angle by an inclined end side mirror and reflection efficiency were measured after an appropriate time, they were 90 degrees and 92%, respectively.

[0160](Example 34) Aluminum was vapor-deposited to the inclined end side of the waveguide type optical-path sensing element produced by the same method as Example 30. When the optical-path conversion angle by an inclined end side mirror and reflection efficiency were measured after an appropriate time, they were 88 degrees and 88%, respectively.

[0161](Example 35) The quartz system glass single mode optical waveguide was produced on the silicon substrate. The refractive indices of a core and a clad are 1.455 and 1.444, respectively, and the sectional shape of a core is 7 micrometers in width, and a 7-micrometer-high rectangle. Using the braid 84 processed into the wedge of 44 vertical angles as shown in drawing 30, by cutting one end of said optical waveguide just before a substrate face, the sectional shape of the edge of a blade formed the inclined end side, and vapor-deposited gold to the inclined end side after an appropriate time. Then, it started in 5 cm in length, and a 2-cm-wide size, and the waveguide type optical-path sensing element was produced.

[0162]The conversion angle was 90 degrees when the conversion angle of the optical path was measured by measuring the intensity distribution in the long-sight field of the catoptric light which entered and reflected the laser beam with a wavelength of 1.55 micrometers in respect of the inclined end from the end face where the produced waveguide type optical-path sensing element is vertical. It was 94% when the reflection efficiency of the mirror was measured by measuring the total light intensity of the catoptric light with a photodetector.

[0163](Example 36) Slushed ultraviolet curing type resin of the refractive index 1.485 into the slot of the wedge in the optical-path sensing element produced in Example 12, it was made to irradiate with and harden ultraviolet rays, it started in 5 cm in length, and a 2-cm-wide size after an appropriate time, and the waveguide type optical-path sensing element was produced.

[0164]The conversion angle was 90 degrees when the conversion angle of the optical path was measured by measuring the intensity distribution in the long-sight field of the catoptric light which entered into the produced waveguide type optical-path sensing element, and reflected the laser beam with a wavelength of 0.85 micrometer in it in respect of the inclined end. It was 97% when the reflection efficiency of the mirror was measured by measuring the total light intensity of the catoptric light with a photodetector. When the rate of reflection attenuation was measured by measuring the luminous intensity which returns to a waveguide incident end face, it was less than -55dB.

[0165](Example 37) The flush type optical waveguide which constituted polymethylmethacrylate to the clad for the core from an epoxy resin was produced on the silicon substrate. The refractive indices of a core and a clad are 1.490 and 1.475,

respectively.

The sectional shape of a core is 40 micrometers in width, and a 40-micrometer-high rectangle. A V groove like drawing 24 was formed using the braid 85 processed into the wedge of 55.5 vertical angles as the sectional shape of the edge of a blade shows to drawing 32 by cutting one end of said optical waveguide just before a substrate face. The angles  $\phi$  which a vertical plane, and the angle  $\theta$  which the end face 52 makes and the inclined end side 9 make with a waveguide optic axis were 10 degrees and 42.5 degrees, respectively. After an appropriate time, gold was vapor-deposited to the inclined end side 9. Then, it started in 5 cm in length, and a 2-cm-wide size, and the waveguide type optical-path sensing element was produced. [0166]The conversion angle was 90 degrees when the conversion angle of the optical path was measured by measuring the intensity distribution in the long-sight field of the catoptric light 63 which entered into the produced waveguide type optical-path sensing element, and reflected the laser beam with a wavelength of 0.85 micrometer in it in respect of [ 9 ] the inclined end. It was 95% when the reflection efficiency of the mirror was measured by measuring the total light intensity of the catoptric light with a photodetector. When the rate of reflection attenuation was specified by measuring the luminous intensity which returns to a waveguide incident end face, it was less than -50dB.

[0167](Example 38) The flush type optical waveguide which constituted polymethylmethacrylate to the clad for the core from an epoxy resin was produced on the silicon substrate. The refractive indices of a core and a clad are 1.490 and 1.475, respectively.

The sectional shape of a core is 40 micrometers in width, and a 40-micrometer-high rectangle. A V groove like drawing 24 was formed using the braid 86 processed into the wedge of 53 vertical angles as the sectional shape of the edge of a blade shows to drawing 33 by cutting one end of said optical waveguide just before a substrate face. The angles  $\phi$  which a vertical plane, and the angle  $\theta$  which the end face 52 makes and the inclined end side 9 make with a waveguide optic axis were 10 degrees and 45 degrees, respectively. After an appropriate time, gold was vapor-deposited to the inclined end side 9. Then, the ultraviolet curing type resin 70 of the refractive index 1.485 was slushed into this V groove (drawing 25), ultraviolet rays were irradiated with and stiffened, it started in 5 cm in length, and a 2-cm-wide size after an appropriate time, and the waveguide type optical-path sensing element was produced. [0168]The conversion angle was 90 degrees when the conversion angle of the optical path was measured by measuring the intensity distribution in the long-sight field of the catoptric light 63 which entered into the produced plane waveguide type optical-path sensing element, and reflected the laser beam with a wavelength of 0.85 micrometer in it in respect of [ 9 ] the inclined end. It was 96% when the reflection efficiency of the mirror was measured by measuring the total light intensity of the catoptric light with a photodetector. When the rate of

reflection attenuation was specified by measuring the luminous intensity which returns to a waveguide incident end face, it was less than -70dB.

[0169]The above Examples 1-38 were about the plane waveguide type optical-path sensing element. Hereafter, an example is described about an optical fiber type optical-path sensing element.

[0170](Example 39) The 39th example of this invention is described with reference to drawing 10 and drawing 11. In a figure, 21 a silicon substrate and 22 an optical fiber and 23 The tip part of an optical fiber, 24 an adhesive film and 25 the core of an optical fiber, and 26 The clad of an optical fiber, The light in which 27 spreads an inclined end side and 28 spreads an optical fiber, the light which optical-path conversion of 29 is carried out by an inclined end side mirror, and is spread to the lower part outside an optical fiber, Or the light which enters into a waveguide via an inclined end side mirror from the lower part outside an optical fiber, They are the light in which 30 spreads an inclined end side and 31 spreads an optical fiber, the light which optical-path conversion of 32 is carried out by an inclined end side mirror, and is spread to the method of optical fiber Sotogami, or the light which enters into an optical fiber via an inclined end side mirror from the method of optical fiber Sotogami.

[0171]As one tip part 23 of the gray DDDO index type multimode optical fiber 22 with a core diameter of 50 micrometers is exposed and placed on the silicon substrate 21 and it is shown in drawing 10 using the adhesive film 24 of an ultraviolet-rays resolvable type, It fixed so that the whole tip part and a part of non-exposed part might be covered with the adhesive film 24. The diamond blade 82 processed into V type of 88 vertical angles as the sectional shape of the edge of a blade shows to drawing 27 is used after an appropriate time, By forming the inclined end side 27, irradiating with ultraviolet rays after an appropriate time, exfoliating the adhesive film 4, and separating the optical fiber 22 from the silicon substrate 21 by cutting said optical fiber 22 just before a substrate face, The optical fiber with an inclined end side mirror as shown in drawing 11 (B) was produced.

[0172]The conversion angle was 90 degrees when the conversion angle of the optical path was measured by measuring the intensity distribution in the long-sight field of the catoptric light which entered and reflected the laser beam with a wavelength of 0.85 micrometer in respect of [ 27 ] the inclined end from the other end of the produced optical fiber with an inclined end side mirror. It was 78% when the reflection efficiency of the inclined end side mirror was measured by measuring the total light intensity of the catoptric light with a photodetector.

[0173](Example 40) After immersing the inclined end side of the optical fiber with an inclined end side mirror produced by the same method as Example 1 in fluoric acid buffer solution and taking smoothing measures, when the optical-path conversion angle by an inclined end side mirror and reflection efficiency were measured, they were 90 degrees and 80%, respectively.

[0174](Example 41) Gold was vapor-deposited to the inclined end side of the optical fiber with



an inclined end side mirror produced by the same method as Example 39. When the optical-path conversion angle by an inclined end side mirror and reflection efficiency were measured after an appropriate time, they were 90 degrees and 93%, respectively.

[0175](Example 42) Silver was vapor-deposited to the inclined end side of the optical fiber with an inclined end side mirror produced by the same method as Example 39. When the optical-path conversion angle by an inclined end side mirror and reflection efficiency were measured after an appropriate time, they were 90 degrees and 92%, respectively.

[0176](Example 43) ARUMIUMU was vapor-deposited to the inclined end side of the optical fiber with an inclined end side mirror produced by the same method as Example 39. When the optical-path conversion angle by an inclined end side mirror and reflection efficiency were measured after an appropriate time, they were 88 degrees and 88%, respectively.

[0177](Example 44) The optical fiber with an inclined end side mirror was produced by the same method as Example 39 except the vertical angle having used V type braid which is 108 degrees.

[0178]The conversion angle was 70 degrees when the conversion angle of the optical path was measured by measuring the intensity distribution in the long-sight field of the catoptric light which entered and carried out inclined end side reflection of the laser beam with a wavelength of 0.85 micrometer from the other end of the produced optical fiber with an inclined end side mirror. It was 93% when the reflection efficiency of the inclined end side mirror was measured by measuring the total light intensity of the catoptric light with a photodetector.

[0179](Example 45) The end of the gray DDDO index type multimode optical fiber 2 with a core diameter of 50 micrometers was placed on the silicon substrate 1, and as shown in drawing 10 using the strong adhesive film 24 of adhesive strength, it fixed. The diamond blade 84 processed in the shape of [ of 44 vertical angles as the sectional shape of the edge of a blade shows to drawing 30 ] single edge is used after an appropriate time, By cutting said optical fiber just before a substrate face, the inclined end side was formed, gold was vapor-deposited to the inclined end side by slanting vacuum evaporation after an appropriate time, and the optical fiber with an inclined end side mirror as shown in drawing 11 (C) was produced.

[0180]The conversion angle was 90 degrees when the conversion angle of the optical path was measured by measuring the intensity distribution in the long-sight field of the catoptric light 30 which entered and reflected the laser beam with a wavelength of 0.85 micrometer in respect of the inclined end from the other end of the produced optical fiber with an inclined end side mirror. It was 94% when the reflection efficiency of the inclined end side mirror was measured by measuring the total light intensity of the catoptric light with a photodetector.

[0181](Example 46) A core diameter 10micrometer step index type single mode optical fiber is processed by the same method as Example 1, The conversion angle was 90 degrees when



the conversion angle of the optical path was measured by measuring the intensity distribution in the long-sight field of the catoptric light which entered and carried out inclined end side reflection of the laser beam with a wavelength of 1.55 micrometers from the other end of the optical fiber with an inclined end side mirror phi-motorcycle[ optical ]-produced with the inclined end side mirror. It was 92% when the reflection efficiency of the inclined end side mirror was measured by measuring the total light intensity of the catoptric light with a photodetector.

[0182](Example 47) After immersing the inclined end side of the optical fiber with an inclined end side mirror produced by the same method as Example 46 in fluoric acid buffer solution and taking smoothing measures, when the optical-path conversion angle by an inclined end side mirror and reflection efficiency were measured, they were 90 degrees and 94%, respectively.

[0183](Example 48) The core diameter 10micrometer step index type single mode optical fiber was processed by the same method as Example 45, and the optical fiber with an inclined end side mirror was produced.

[0184]The conversion angle was 90 degrees when the conversion angle of the optical path was measured by measuring the intensity distribution in the long-sight field of the catoptric light which entered and carried out inclined end side reflection of the laser beam with a wavelength of 1.55 micrometers from the vertical end face of the produced optical fiber with an inclined end side mirror. It was 93% when the reflection efficiency of the inclined end side mirror was measured by measuring the total light intensity of the catoptric light with a photodetector.

[0185](Example 49) The 49th example of this invention is described with reference to drawing 34 and drawing 35.

[0186]The end of the optical fiber ribbon 107 of the 4 hearts which cover the gray DDDO index type multimode optical fiber 110 with a core diameter of 50 micrometers with the covering material 109, It placed on the silicon substrate 106 still in the state with covering, and using the adhesive film 108 of an ultraviolet-rays resolvable type, as shown in drawing 34 (A) and (B), it fixed. The optical fiber 110 consists of the core 111 and the clad 112 which surrounds this, respectively. After an appropriate time using the diamond blade 82 processed into V type of 88 vertical angles as the sectional shape of the edge of a blade shows to drawing 27 by cutting said optical fiber 110 just before the surface of the silicon substrate 106, Form the inclined end side 113 (drawing 35 (A)), and after an appropriate time, irradiate with ultraviolet rays and the film 108 is exfoliated, After separating the optical fiber ribbon 107 from the silicon substrate 106, the optical fiber ribbon 107 with an inclined end side mirror as exfoliates and shows drawing 35 (B) the covering material 109 of a tip part was produced.

[0187]Laser beams with a wavelength of 0.85 micrometer are entered from the end face of another side in which an inclined end side mirror is not formed about each of the optical fiber of the 4 produced hearts with an inclined end side mirror, When the conversion angle of the optical path was measured, respectively by measuring the intensity distribution in the long-

sight field of catoptric light reflected in respect of [ 113 ] the inclined end, the conversion angle was less than 1 time in dispersion at an average of 90 degrees.

[0188]When the reflection efficiency of the mirror was measured by measuring the total light intensity of catoptric light with a photodetector, dispersion was less than 2% at an average of 78%.

[0189](Example 50) After immersing the inclined end side of the optical fiber ribbon with an inclined end side mirror produced by the same method as Example 49 in fluoric acid buffer solution and taking smoothing measures, When the optical-path conversion angle and reflection efficiency by an inclined end side mirror were measured, they were an average of 90 degrees (less than one dispersion) and 80% (less than 2% of dispersion), respectively.

[0190](Example 51) Gold was vapor-deposited to the inclined end side of the optical fiber ribbon with an inclined end side mirror produced by the same method as Example 49. When the optical-path conversion angle by an inclined end side mirror and reflection efficiency were measured after an appropriate time, they were an average of 90 degrees (less than one dispersion) and 94% (less than 2% of dispersion), respectively.

[0191](Example 52) The 52nd example of this invention is described with reference to drawing 36 and drawing 37.

[0192]Covering of the tip part of the end of the optical fiber ribbon 117 of the 4 hearts which consist of the gray DIDDO index type multimode optical fiber 118 (the core 121 and the clad 122) with a core diameter of 50 micrometers is exfoliated, It has arranged so that each optical fiber 118 may meet in the fixed slot 120 on the glass substrate 116 in which the slot 120 for V-like immobilization was formed, and using the ultraviolet curing type resin 119, as shown in drawing 36 (A) thru/or (B), it fixed. After an appropriate time using the diamond blade 84 processed in the shape of [ of 44 vertical angles as the sectional shape of the edge of a blade shows to drawing 30 ] single edge by cutting said optical fiber 118 to the cladding layer 122 by the side of the substrate 116 of an optical fiber, As shown in drawing 37, the inclined end side 123 was formed, gold was vapor-deposited to the inclined end side 123 by slanting vacuum evaporation after an appropriate time, and the optical fiber ribbon 117 with an inclined end side mirror was obtained.

[0193]By entering a laser beam with a wavelength of 0.85 micrometer and measuring the intensity distribution in the long-sight field of catoptric light reflected in respect of [ 123 ] the inclined end from the other end of the produced optical fiber with an inclined end side mirror, When the conversion angle of the optical path was measured, respectively, the average was less than 1 time in dispersion at 90 degrees. When the reflection efficiency of the inclined end side mirror was measured by measuring the total light intensity of the catoptric light with a photodetector, dispersion was less than 2% at an average of 94%. When the rate of reflection attenuation was measured by measuring the luminous intensity which returns to an optical

fiber incident end face, it was -15dB on the average.

[0194](Example 53) The gray DIDDO index type multimode optical fiber 124 of 12 50-micrometer core diameters as shown in drawing 38 into the portion shown in the numerals 127 in the figure of the optical fiber sheet currently embedded into the resin 125. It cut selectively using the diamond blade processed in the shape of [ of 44 vertical angles ] single edge, the inclined end side was formed, gold was vapor-deposited to the inclined end side by slanting vacuum evaporation after an appropriate time, and the optical-path conversion (inclined end side) mirror was produced.

[0195]By entering a laser beam with a wavelength of 0.85 micrometer from the fiber end by the side of the connector 126, and measuring the intensity distribution in the long-sight field of catoptric light reflected in the portion 127 which forms an inclined end side mirror, When the conversion angle of the optical path was measured about eight fiber in which the inclined end side mirror was formed, respectively, dispersion was less than 1 time at an average of 90 degrees. When the reflection efficiency of inclined end side Myra 1 was measured by measuring the total light intensity of the catoptric light with a photodetector, dispersion was less than 2% at an average of 94%.

[0196](Example 54) Using the plastic optical fiber with a core diameter of 1000 micrometers which is poly methyl methacrylate, the core cut by the same method as Example 39, and produced the plastic optical fiber with an inclined end side mirror.

[0197]The conversion angle was 90 degrees when the conversion angle of the optical path was measured by entering a laser beam with a wavelength of 0.85 micrometer and measuring the intensity distribution in the long-sight field of catoptric light reflected in respect of the inclined end from the other end of the produced plastic optical fiber with an inclined end side mirror. It was 68% when the reflection efficiency of the inclined end side mirror was measured by measuring the total light intensity of the catoptric light with a photodetector.

[0198](Example 55) After hitting the trowel heated to 180 temperature to the inclined end side of the brass tic optical fiber with an inclined end side mirror produced by the same method as Example 54 and taking smoothing measures, when the optical-path conversion angle by an inclined end side mirror and reflection efficiency were measured, they were 90 degrees and 71%, respectively.

[0199](Example 56) After immersing the inclined end side of the plastic optical fiber with an inclined end side mirror produced by the same method as Example 55 in methyl isobutyl ketone and taking smoothing measures, the optical-path conversion angle by an inclined end side mirror, and when it was alike and reflection efficiency was measured, they were 90 degrees and 70%, respectively.

[0200](Example 57) After immersing the inclined end side of the plastic optical fiber with an inclined end side mirror produced by the same method as Example 55 in chlorobenzene and

taking smoothing measures, when the optical-path conversion angle by an inclined end side mirror and reflection efficiency were measured, they were 90 degrees and 71%, respectively.

[0201](Example 58) Gold was vapor-deposited to the inclined end side of the plastic optical fiber with an inclined end side mirror produced by the same method as Example 55. When the optical-path conversion angle by an inclined end side mirror and reflection efficiency were measured after an appropriate time, they were 90 degrees and 96%, respectively.

[0202](Example 59) Using plastic clad optical fiber with a core diameter of 200 micrometers whose core is quartz system glass and whose clads are polymers, it cut by the same method as Example 39, and the plastic optical fiber with an inclined end side mirror was produced.

[0203]The conversion angle was 90 degrees when the conversion angle of the optical path was measured by entering a laser beam with a wavelength of 0.85 micrometer and measuring the intensity distribution in the long-sight field of catoptric light reflected in respect of the inclined end from the other end of the produced plastic optical fiber with an inclined end side mirror. It was 69% when the reflection efficiency of the inclined end side mirror was measured by measuring the total light intensity of the catoptric light with a photodetector.

[0204](Example 60) After immersing the inclined end side of the plastic clad optical fiber with an inclined end side mirror produced by the same method as Example 59 in fluoric acid buffer solution and taking smoothing measures, when the optical-path conversion angle and reflection efficiency by an inclined end side mirror were measured, they were 90 degrees and 71%, respectively.

[0205](Example 61) Gold was vapor-deposited to the inclined end side of the plastic clad optical fiber with an inclined end side mirror produced by the same method as Example 59. When the optical-path conversion angle by an inclined end side mirror and reflection efficiency were measured after an appropriate time, they were 90 degrees and 95%, respectively.

[0206](Example 62) As shown in drawing 36, covering of the tip part of the end of the optical fiber ribbon 117 of the 4 hearts which consist of the gray DIDDO index type multimode optical fiber 118 (the core 121 and the clad 122) with a core diameter of 50 micrometers is exfoliated, It has arranged so that each optical fiber 118 may meet in the slot 120 for immobilization on the glass substrate 116 in which the slot 120 for V-like immobilization was formed, and using the ultraviolet curing type resin 119, as shown in drawing 36 (A) thru/or (B), it fixed. The sectional shape of the edge of a blade uses the diamond blade 84 processed in the shape of [ of 44 vertical angles as shown in drawing 30 ] single edge after an appropriate time, By cutting said optical fiber 118 to the cladding layer 122 by the side of the substrate 116 of an optical fiber, the inclined end side 123 is formed, and as shown in drawing 37 after an appropriate time, gold is vapor-deposited to an inclined end side by slanting vacuum evaporation.

Then, the ultraviolet curing type resin 70 of the refractive index 1.455 was slushed into this V

groove, ultraviolet rays were irradiated with and stiffened, and the optical fiber ribbon 117 with an inclined end side mirror was produced.

[0207]When the conversion angle of the optical path was measured, respectively by measuring the intensity distribution in the long-sight field of catoptric light which entered the laser beam with a wavelength of 0.85 micrometer and was reflected in respect of the inclined end from the other end of the produced optical fiber with an inclined end side mirror, the average was less than 1 time in dispersion at 90 degrees. When the reflection efficiency of the inclined end side mirror was measured by measuring the total light intensity of the catoptric light with a photodetector, it was an average of 95%, and dispersion was less than 2%. When the rate of reflection attenuation was measured by measuring the luminous intensity which returns to an optical fiber incident end face, it was -55dB on the average.

[0208](Example 63) As shown in drawing 36, covering of the tip part of the end of the optical fiber ribbon 117 of the 4 hearts which consist of the gray DIDDO index type multimode optical fiber 118 (the core 121 and the clad 122) with a core diameter of 50 micrometers is exfoliated, On the glass substrate 116 in which the slot 120 for V-like immobilization was formed, it has arranged so that each optical fiber 118 may meet the slot 120 for immobilization, and it fixed using the ultraviolet curing type resin 119. After an appropriate time, the sectional shape of the edge of a blade formed the V groove as shown in drawing 40 using the diamond blade 87 processed in the shape of [ of 55.5 vertical angles as shown in drawing 39 ] single edge by cutting said optical fiber 118 to the cladding layer 122 by the side of the substrate 116 of an optical fiber. The angles phi which the flat surface 134 where the end face 132 is vertical to the optic axis 133 of an optical fiber, and the angle theta to make and the inclined end side 123 make with the optic axis 133 of an optical fiber were 10 degrees and 42.5 degrees, respectively. After an appropriate time, gold was vapor-deposited to the inclined end side 123 by slanting vacuum evaporation, and the optical fiber ribbon 117 with an inclined end side mirror as shown in drawing 41 was produced.

[0209]When the conversion angle of the optical path was measured, respectively by measuring the intensity distribution in the long-sight field of catoptric light which entered the laser beam with a wavelength of 0.85 micrometer and was reflected in respect of the inclined end from the other end of the produced optical fiber with an inclined end side mirror, the average was less than 1 time in dispersion at 90 degrees. When the reflection efficiency of the inclined end side mirror was measured by measuring the total light intensity of the catoptric light with a photodetector, it was an average of 95%, and dispersion was less than 2%. When the rate of reflection attenuation was measured by measuring the luminous intensity which returns to an optical fiber incident end face, it was -55dB on the average.

[0210](Example 64) As shown in drawing 36, covering of the tip part of the end of the optical

fiber ribbon 117 of the 4 hearts which consist of the gray DIDDO index type multimode optical fiber 118 (the core 121 and the clad 122) with a core diameter of 50 micrometers is exfoliated, On the glass substrate 116 in which the slot 120 for V-like immobilization was formed, it has arranged so that each optical fiber 118 may meet the slot for immobilization, and it fixed using the ultraviolet curing type resin 119. After an appropriate time, the sectional shape of the edge of a blade formed the V groove as shown in drawing 40 using the diamond blade 88 processed in the shape of [ of 53 vertical angles as shown in drawing 42 ] single edge by cutting said optical fiber 118 to the cladding layer 122 by the side of the substrate 116 of an optical fiber. The angles  $\phi$  which the flat surface 134 where the end face 132 is vertical to the optic axis 133 of an optical fiber, and the angle  $\theta$  to make and the inclined end side 123 make with the optic axis 133 of an optical fiber were 10 degrees and 45 degrees, respectively. After an appropriate time, gold was vapor-deposited to the inclined end side 123 by slanting vacuum evaporation. Then, as shown in drawing 43, the ultraviolet curing type resin 70 of the refractive index 1.455 was slushed into this V groove, ultraviolet rays were irradiated with and stiffened, and the optical fiber ribbon with an inclined end side mirror was produced.

[0211]When the conversion angle of the optical path was measured, respectively by measuring the intensity distribution in the long-sight field of catoptric light which entered the laser beam with a wavelength of 0.85 micrometer and was reflected in respect of the inclined end from the other end of the produced optical fiber with an inclined end side mirror, the average was less than 1 time in dispersion at 90 degrees. When the reflection efficiency of the inclined end side mirror 123 was measured by measuring the total light intensity of the catoptric light with a photodetector, it was an average of 95%, and dispersion was less than 2%. When the rate of reflection attenuation was measured by measuring the luminous intensity which returns to an optical fiber incident end face, it was -70dB on the average.

[0212](Example 65) The optical fiber ribbon of the 4 hearts which consist of a step index type single mode optical fiber with a core diameter of 9 micrometers has been arranged so that each optical fiber may meet at a V groove on the glass substrate in which the slot for V-like immobilization was formed, and it fixed using ultraviolet curing type resin. And the sectional shape of the edge of a blade uses the diamond blade 84 processed in the shape of [ of 44 vertical angles as shown in drawing 30 ] single edge like said Example 52, The optical fiber ribbon with an inclined end side mirror was produced by forming an inclined end side and vapor-depositing gold to an inclined end side by slanting vacuum evaporation after an appropriate time by cutting said optical fiber to the cladding layer by the side of the substrate of an optical fiber.

[0213]When the conversion angle of the optical path was measured, respectively by measuring the intensity distribution in the long-sight field of catoptric light which entered the laser beam with a wavelength of 1.31 micrometers and was reflected in respect of the inclined end from

the other end of the produced optical fiber with an inclined end side mirror, the average was less than 1 time in dispersion at 90 degrees. When the reflection efficiency of the inclined end side mirror was measured by measuring the total light intensity of the catoptric light with a photodetector, it was an average of 94%, and dispersion was less than 2%. When the rate of reflection attenuation was measured by measuring the luminous intensity which returns to an optical fiber incident end face, it was -15dB on the average.

[0214](Example 66) The optical fiber ribbon of the 4 hearts which consist of a step index type single mode optical fiber with a core diameter of 9 micrometers has been arranged so that each optical fiber may meet at a V groove on the glass substrate in which the slot for V-like immobilization was formed, and it fixed using ultraviolet curing type resin. And the sectional shape of the edge of a blade formed the inclined end side like said Example 52 using the diamond blade 84 processed in the shape of [ of 44 vertical angles as shown in drawing 30 ] single edge by cutting said optical fiber to the cladding layer by the side of the substrate of an optical fiber. After an appropriate time, gold is vapor-deposited to an inclined end side by slanting vacuum evaporation.

Then, the optical fiber ribbon with an inclined end side mirror was produced by slushing ultraviolet curing type resin of the refractive index 1.455 into this V groove, and irradiating with and stiffening ultraviolet rays.

[0215]When the conversion angle of the optical path was measured, respectively by measuring the intensity distribution in the long-sight field of catoptric light which entered the laser beam with a wavelength of 1.31 micrometers and was reflected in respect of the inclined end from the other end of the produced optical fiber with an inclined end side mirror, the average was less than 1 time in dispersion at 90 degrees. When the reflection efficiency of the inclined end side mirror was measured by measuring the total light intensity of the catoptric light with a photodetector, it was an average of 95%, and dispersion was less than 2%. When the rate of reflection attenuation was measured by measuring the luminous intensity which returns to an optical fiber incident end face, it was -55dB on the average.

[0216](Example 67) The optical fiber ribbon of the 4 hearts which consist of a step index type single mode optical fiber with a core diameter of 9 micrometers has been arranged so that each optical fiber may meet at a V groove on the glass substrate in which the slot for V-like immobilization was formed, and it fixed using ultraviolet curing type resin. And the sectional shape of the edge of a blade formed the V groove as shown in drawing 40 like Example 53 using the diamond blade 87 processed in the shape of [ of 55.5 vertical angles as shown in drawing 39 ] single edge by cutting said optical fiber to the cladding layer by the side of the substrate of an optical fiber. The angles phi which the flat surface 134 where the end face 132 is vertical to the optic axis 133 of an optical fiber, and the angle theta to make and the inclined



end side 123 make with the optic axis 133 of an optical fiber were 10 degrees and 42.5 degrees, respectively. After an appropriate time, gold was vapor-deposited to the inclined end side 123 by slanting vacuum evaporation, and the optical fiber ribbon with an inclined end side mirror as shown in drawing 41 was produced.

[0217]When the conversion angle of the optical path was measured, respectively by measuring the intensity distribution in the long-sight field of catoptric light which entered the laser beam with a wavelength of 1.31 micrometers and was reflected in respect of the inclined end from the other end of the produced optical fiber with an inclined end side mirror, the average was less than 1 time in dispersion at 90 degrees. When the reflection efficiency of the inclined end side mirror was measured by measuring the total light intensity of the catoptric light with a photodetector, it was an average of 95%, and dispersion was less than 2%. When the rate of reflection attenuation was measured by measuring the luminous intensity which returns to an optical fiber incident end face, it was -55dB on the average.

[0218](Example 68) The optical fiber ribbon of the 4 hearts which consist of a step index type single mode optical fiber with a core diameter of 9 micrometers has been arranged so that each optical fiber may meet in the slot for processes on the glass substrate in which the slot for V-like immobilization was formed, and it fixed using ultraviolet curing type resin. And the sectional shape of the edge of a blade formed the V groove as shown in drawing 40 like said Example 54 using the diamond blade 88 processed in the shape of [ of 53 vertical angles as shown in drawing 42 ] single edge by cutting said optical fiber to the cladding layer by the side of the substrate of an optical fiber. The angles phi which the flat surface 134 where the end face 132 is vertical to the optic axis 133 of an optical fiber, and the angle theta to make and the inclined end side 123 make with the optic axis 133 of an optical fiber were 10 degrees and 45 degrees, respectively. After an appropriate time, gold was vapor-deposited to the inclined end side 123 by slanting vacuum evaporation. Then, the ultraviolet curing type resin 70 of the refractive index 1.455 was slushed into this V groove, ultraviolet rays were irradiated with and stiffened, and the optical fiber ribbon with an inclined end side mirror as shown in drawing 43 was produced.

[0219]When the conversion angle of the optical path was measured, respectively by measuring the intensity distribution in the long-sight field of catoptric light which entered the laser beam with a wavelength of 1.31 micrometers and was reflected in respect of the inclined end from the other end of the produced optical fiber with an inclined end side mirror, the average was less than 1 time in dispersion at 90 degrees. When the reflection efficiency of the inclined end side mirror was measured by measuring the total light intensity of the catoptric light with a photodetector, it was an average of 95%, and dispersion was less than 2%. When the rate of reflection attenuation was measured by measuring the luminous intensity which returns to an optical fiber incident end face, it was -70dB on the average.



[0220]In this invention, as mentioned above, when using a polymer material for the material of an optical waveguide, if the polymers expressed with said structural-formula (I) - (VI) are used, it is suitable. Each of such materials becomes possible [ producing the outstanding optical-path sensing element from the low loss of 0.1 or less dB/cm being shown as a loss value in a short wavelength region ]. Those loss property was shown in the following table 1. What is necessary is for a core just to consist of PMMA shown by said structural-formula (I), deuteration PMMA, or deuteration polyfluoro methacrylate (deuteration PFMA), when the light transmission characteristic in a 0.85-micrometer belt is required especially. What is necessary is for a core just to consist of silicone of deuteration PMMA shown by said structural-formula (I), the deuteration PFMA or structural-formula (V), and (VI), when the light transmission characteristic which can set a 1.3-micrometer belt is required. What is necessary is for a core just to consist of silicone of structural-formula (V) and (VI), when the light transmission characteristic which can set a 1.55-micrometer belt is required. What is necessary is for a core just to consist of an epoxy resin of structural-formula (II) - (IV), and silicone of structural-formula (V) and (VI), in giving priority to heat resistance over a loss.

[0221]

[Table 1]

コア材料		PMMA 式 (I)	重水素化PMMA および 重水素化PFMA 式 (I)	光硬化 エポキシ樹脂 式 (II)～(IV)	シリコン 式 (V) ～(VI)
損失 (dB/cm)	0.85 $\mu$ m 帯	0.04	0.02	0.08	0.08
	1.3 $\mu$ m 帯	0.3	0.07	0.3	0.1
	1.55 $\mu$ m 帯	0.8	1.3	2	0.2
半田耐熱		△	△	○	○

[0222]Although the example which used polymethylmethacrylate, deuteration / fluorination polymethacrylate, a polysiloxane, an epoxy resin, and silica glass about waveguide material was shown in the above example, Polycarbonate and polyimide which are known as an optical waveguide material, polyamide, Polyurethane, polyacrylate, polyolefine, polyether, Polymer materials, such as silicone resin, a cyclobenzobutene, and acrylic resin, It cannot be overemphasized that the method of this invention is applicable like other dielectric materials, such as textile-glass-yarn materials, such as Virex glass, oxide glass, fluoride glass, and cull KOGENAITO glass, lithium niobate, and GGG.

[0223]

[Effect of the Invention]As explained above, if the method of producing the optical-path sensing element by this invention is used, the highly efficient reflection type optical-path sensing element expected as a light corpuscle child effective in high integration of light modules, such

as a light-transmission-and-reception machine, reduction of assembly cost, etc. is with high precision and easily producible.

---

[Translation done.]

\* NOTICES \*

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

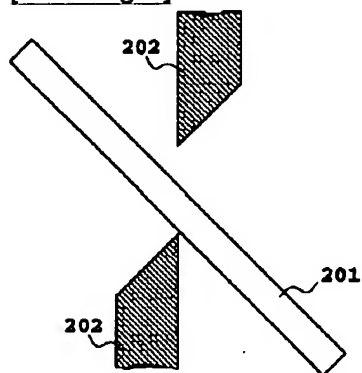
- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.\*\*\*\* shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

---

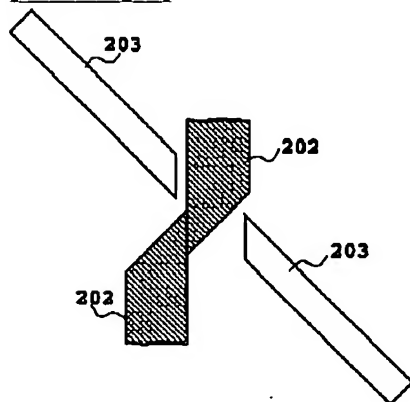
DRAWINGS

---

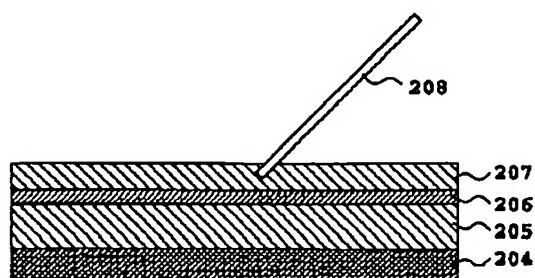
[Drawing 1]



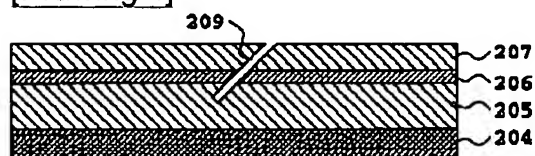
[Drawing 2]



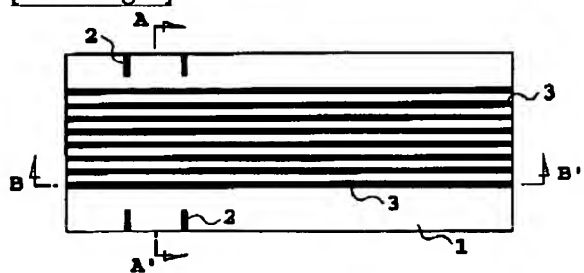
[Drawing 3]



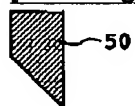
[Drawing 4]



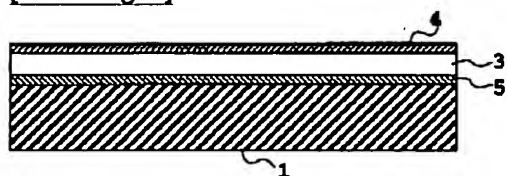
[Drawing 5]



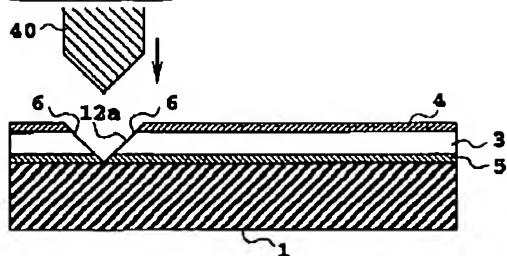
[Drawing 18]



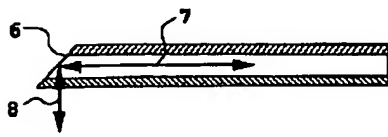
[Drawing 6]



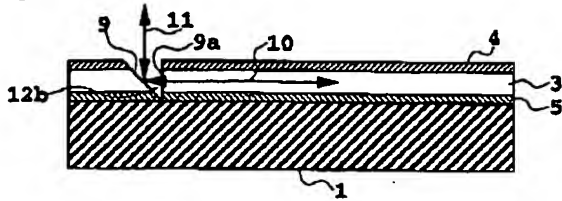
[Drawing 7]



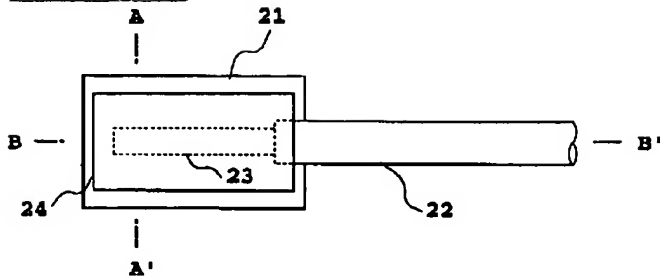
[Drawing 8]



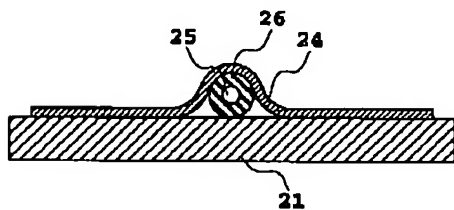
[Drawing 9]



[Drawing 10]

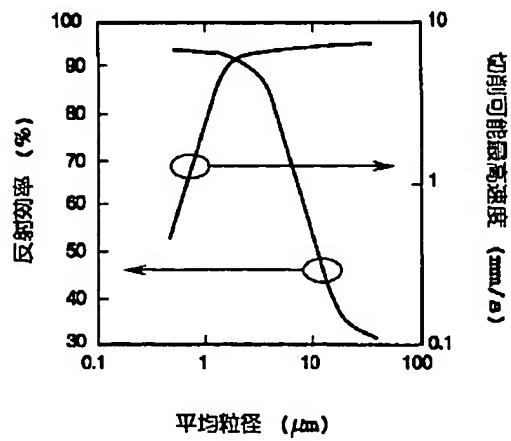


(A)

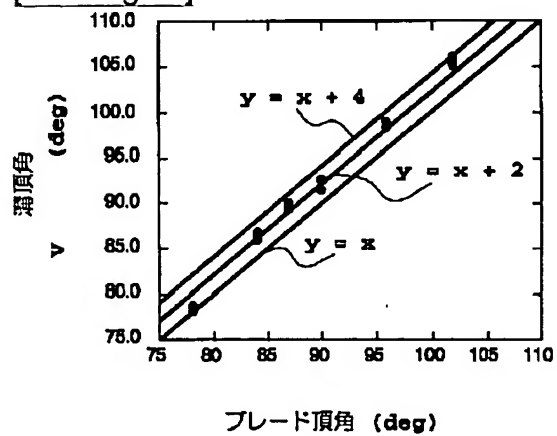


(B)

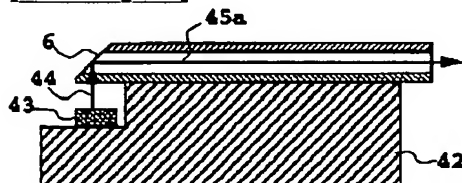
[Drawing 12]



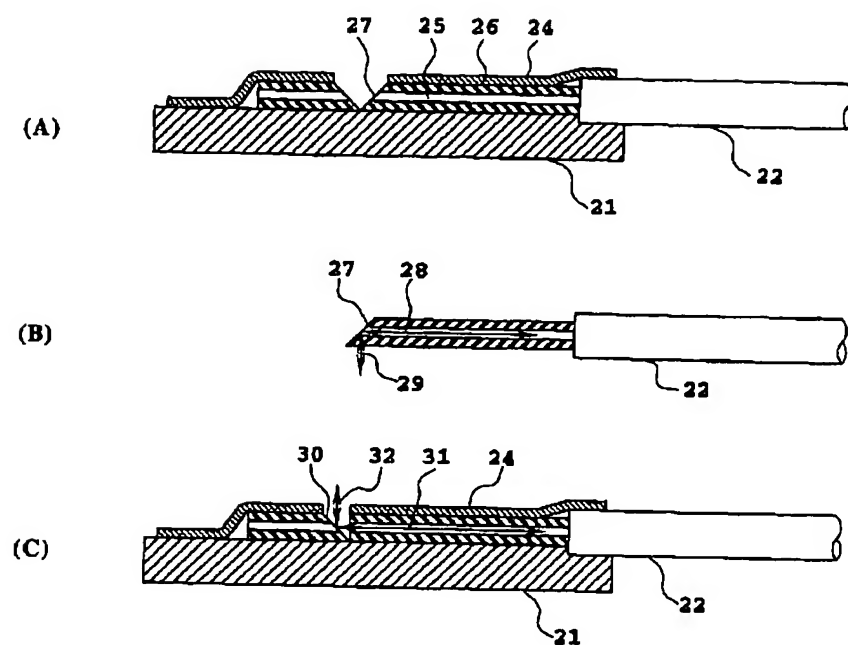
[Drawing 13]



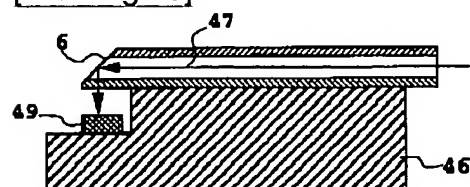
[Drawing 14]



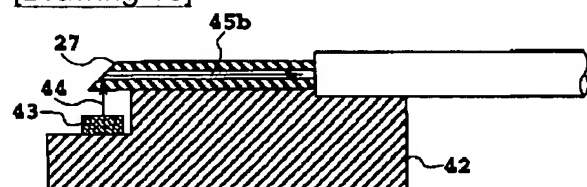
[Drawing 11]



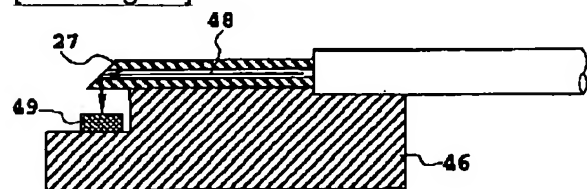
[Drawing 15]



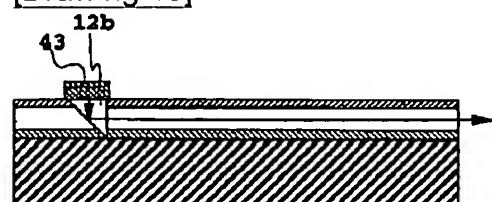
[Drawing 16]



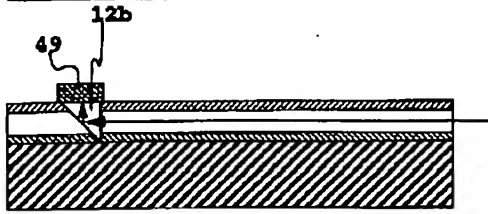
[Drawing 17]



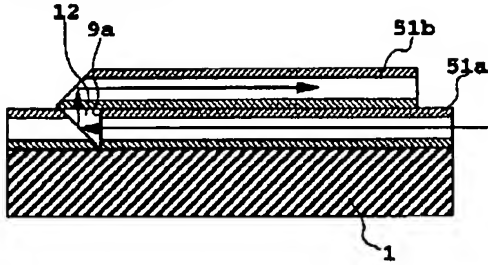
[Drawing 19]



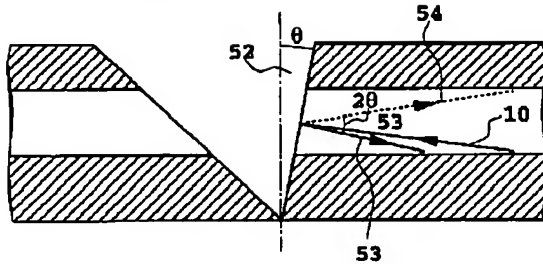
[Drawing 20]



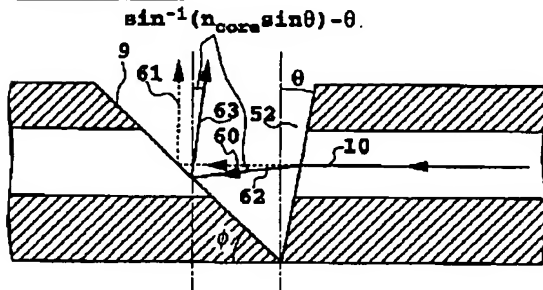
[Drawing 21]



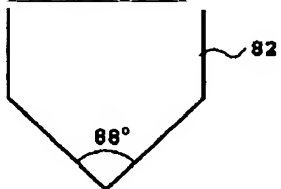
[Drawing 22]



[Drawing 24]

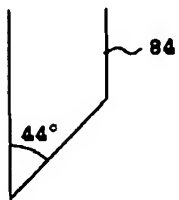


[Drawing 27]

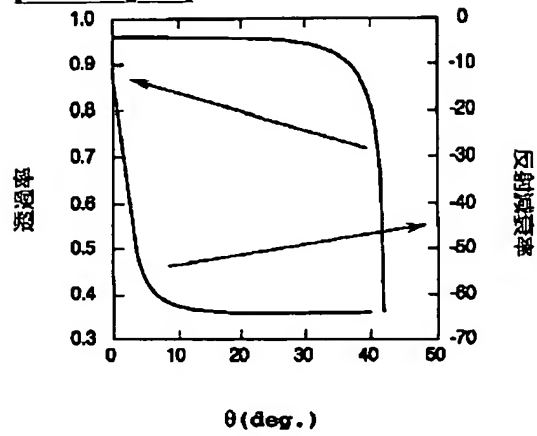


[Drawing 30]

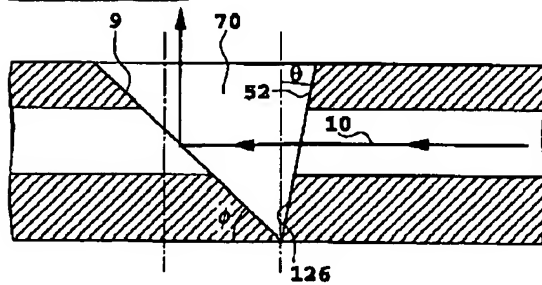




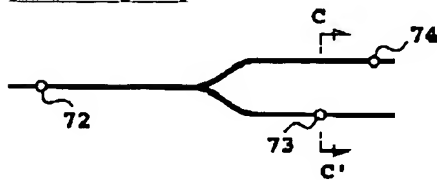
[Drawing 23]



[Drawing 25]



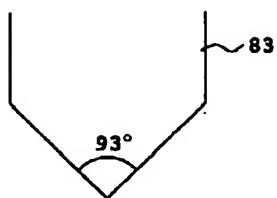
[Drawing 26]



[Drawing 28]



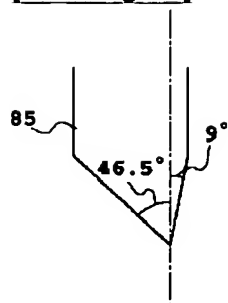
[Drawing 29]



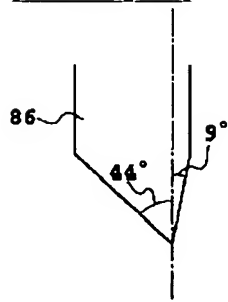
[Drawing 31]



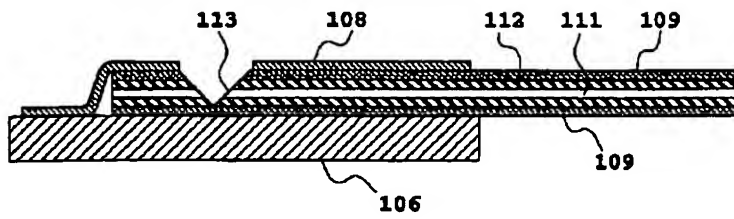
[Drawing 32]



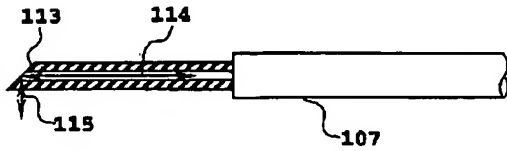
[Drawing 33]



[Drawing 35]

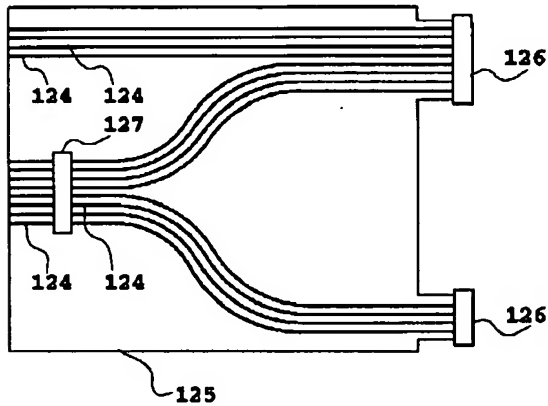


(A)

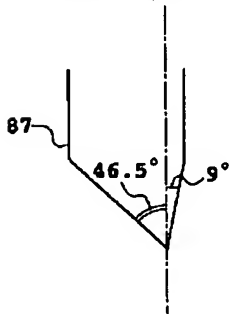


(B)

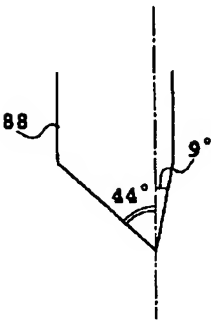
[Drawing 38]



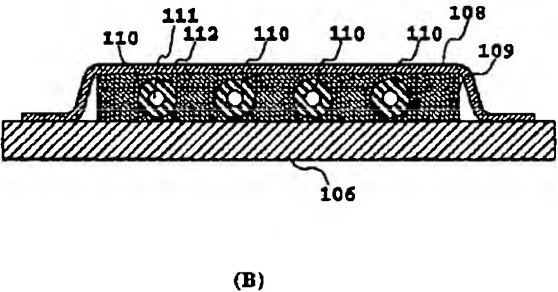
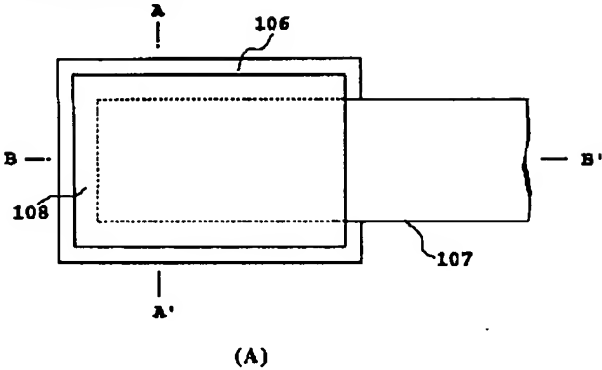
[Drawing 39]



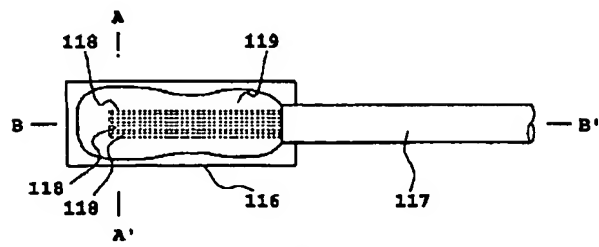
[Drawing 42]



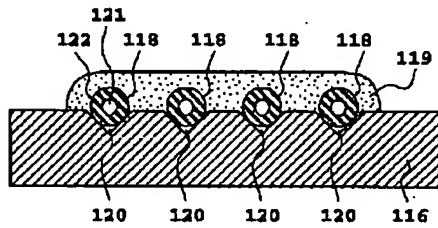
[Drawing 34]



[Drawing 36]

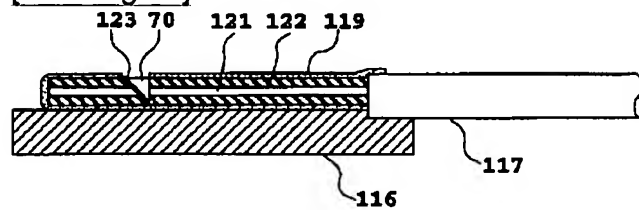


(A)

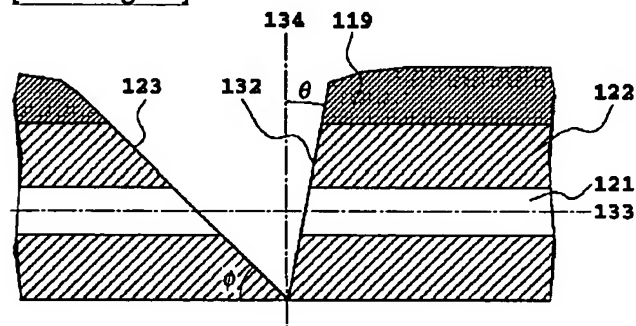


(B)

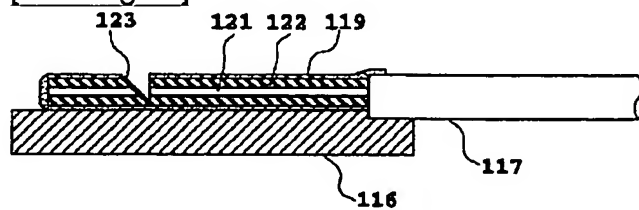
[Drawing 37]



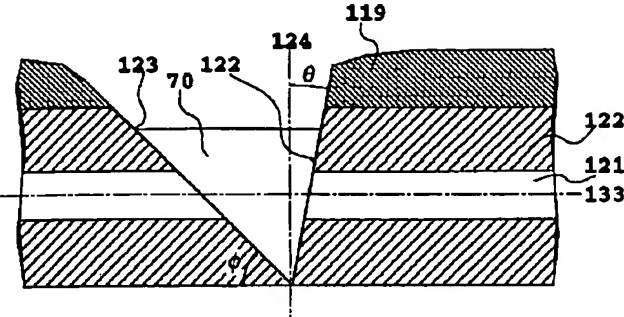
[Drawing 40]



[Drawing 41]



[Drawing 43]



[Translation done.]

(10) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-300961

(43) 公開日 平成10年(1998)11月13日

(51) Int. Cl.<sup>6</sup>G 0 2 B 6/122  
6/13  
6/12

識別記号

F I

G 0 2 B 6/12

C  
M  
A  
N

審査請求 未請求 請求項の数42 O L (全 33 頁)

(21) 出願番号 特願平9-205093

(22) 出願日 平成9年(1997)7月30日

(31) 優先権主張番号 特願平8-202275

(32) 優先日 平8(1996)7月31日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(31) 優先権主張番号 特願平9-43806

(32) 優先日 平9(1997)2月27日

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号

(72) 発明者 吉村 了行

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本

電信電話株式会社内

(72) 発明者 疋田 真

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本

電信電話株式会社内

(72) 発明者 都丸 暁

東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本

電信電話株式会社内

(74) 代理人 弁理士 谷 義一 (外1名)

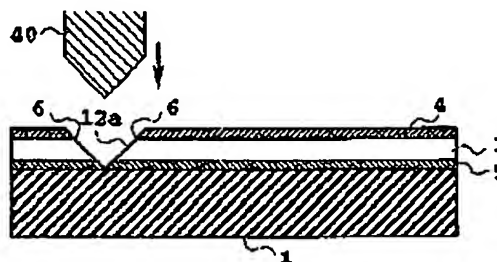
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光路変換素子と、その作製方法、および光路変換素子作製用のブレード

(57) 【要約】

【課題】 平面型光導波路や光ファイバ型光導波路からなる光路変換素子の光導波路の所望の位置に所望の傾斜角度を有する光路変換用の傾斜端面（マイクロミラー）を、簡単に精度良く作製する方法を提供する。

【解決手段】 刃先に傾斜角を有するブレードを用いて、切削時に該ブレードを光導波路に対して垂直に当てて加工を行うことにより、光導波路にマイクロミラーとなる傾斜端面を形成する。



(2)

特開平10-300961

1

2

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 所望の傾斜角を有する光路変換用の傾斜端面を具備する光導波路を有し、前記傾斜端面における反射を利用して、前記光導波路を伝搬する光の光路を変換して該光導波路の平面外に出射するか、あるいは該光導波路の平面外から入射する光の光路を変換して該光導波路へ結合する機能を有する光路変換素子であって、前記光導波路には、前記光導波路の光軸に垂直な面に対して僅かな傾斜を有する入出射面が前記傾斜端面に対向して形成され、前記入出射面と前記傾斜端面とにより前記光導波路にV状の溝が形成されていることを特徴とする光路変換素子。

【請求項2】 前記入出射面が前記光導波路光軸と垂直な面に対して傾斜する角度が、1度～30度であることを特徴とする請求項1に記載の光路変換素子。

【請求項3】 前記V状の溝に前記光導波路のコア材料に近い屈折率を有する物質が充填されていることを特徴とする請求項1または2に記載の光路変換素子。

【請求項4】 前記光導波路のコア材料に近い屈折率を有する物質が樹脂であることを特徴とする請求項3に記載の光路変換素子。

【請求項5】 所望の傾斜角を有する光路変換用の傾斜端面を具備する光導波路を有し、前記傾斜端面における反射を利用して、前記光導波路を伝搬する光の光路を変換して該光導波路の平面外に出射するか、あるいは該光導波路の平面外から入射する光の光路を変換して該光導波路へ結合する機能を有する光路変換素子であって、前記光導波路には、前記光導波路の光軸にはほぼ垂直な入出射面が前記傾斜端面に対向して形成され、前記入出射面と前記傾斜端面とにより前記光導波路にV状の溝が形成され、該溝に前記光導波路のコア材料に近い屈折率を有する物質が充填されていることを特徴とする光路変換素子。

【請求項6】 前記光導波路のコア材料に近い屈折率を有する物質が樹脂であることを特徴とする請求項5に記載の光路変換素子。

【請求項7】 前記光導波路が平面型光導波路であることを特徴とする請求項1ないし6のいずれかに記載の光\*

## \* 光路変換素子。

【請求項8】 前記光導波路が光ファイバであることを特徴とする請求項1ないし6のいずれかに記載の光路変換素子。

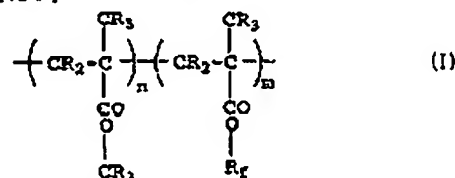
【請求項9】 前記光導波路のコアならびにクラッドがガラス系材料から構成されていることを特徴とする請求項1ないし8のいずれかに記載の光路変換素子。

【請求項10】 前記光導波路のコアがガラス系材料から構成され、クラッドが高分子材料から構成されていることを特徴とする請求項1ないし8のいずれかに記載の光路変換素子。

【請求項11】 前記光導波路のコアならびにクラッドが高分子材料から構成されていることを特徴とする請求項1ないし8のいずれかに記載の光路変換素子。

【請求項12】 前記コアおよびクラッドを構成する高分子材料がそれぞれ下記構造式(I)で表される高分子であり、前記クラッドを構成する高分子材料が前記コアの高分子材料より屈折率が小さいことを特徴とする請求項11に記載の光路変換素子。

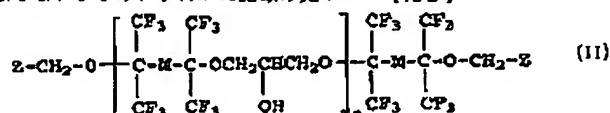
【化1】



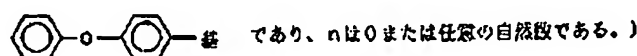
(式中、n、mはn+m=1の関係にあり、0≤n、m≤1を満足する正数を表す。また、Rは水素あるいは水素を表し、R<sub>f</sub>はC、F、...で表される置換基を示し、sは1以上の整数である。)

【請求項13】 前記コアおよびクラッドを構成する高分子材料がそれぞれ下記構造式(II)～(IV)からなる混合物、あるいは(II)～(IV)から選ばれた一種を光硬化して得られたエポキシ樹脂であり、前記クラッドを構成する高分子材料が前記コアの高分子材料より屈折率が小さいことを特徴とする請求項11に記載の光路変換素子。

【化2】



(式中、Zは  $\text{CH}_2 - \text{CH} - \text{基}$  であり、Mは  $\text{—} \text{C}_6\text{H}_4 \text{—}$  または





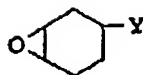
(3)

特開平10-300961

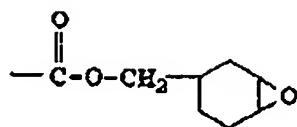
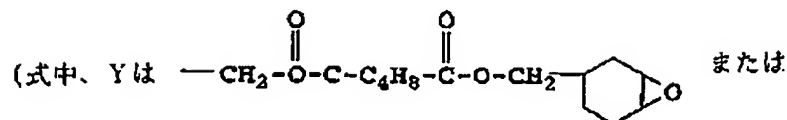
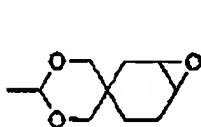
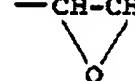
3

4

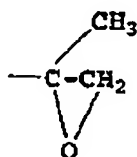
【化3】



(III)

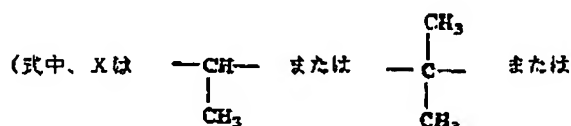
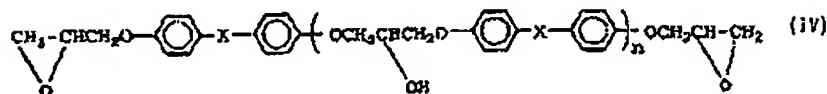
または  $\text{—CH—CH}_2$  または

または



である。)

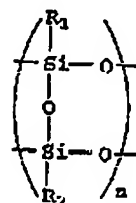
【化4】

 $\text{—CH}_2\text{—}$  である。)

【請求項14】 前記コアおよびクラッドを構成する高分子材料が、それぞれ下記構造式(V)または(VI)で表される繰り返し単位を有するポリシロキサン、あるいは同構造式(V)または(VI)で表される繰り返し単位の共重合ポリシロキサン、およびこれらの混合物からなる群から選ばれた高分子であり、前記クラッドを構成する高分子材料が前記コアの高分子材料より屈折率が小さいことを特徴とする請求項11に記載の光路変換素子。

【化5】

50



(V)

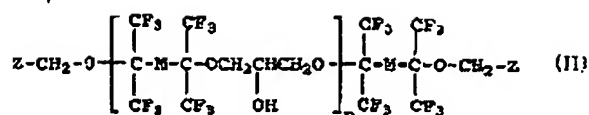
【化6】

(5)

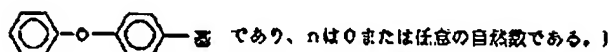
特開平10-300961

7

8



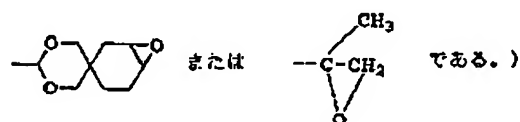
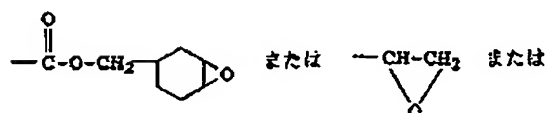
(式中、Zは  $\begin{array}{c} CH_2-CH \\ \diagup \quad \diagdown \\ O \end{array}$  であり、Mは  $\begin{array}{c} \diagup \quad \diagdown \\ \diagdown \quad \diagup \end{array}$  または



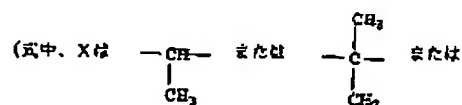
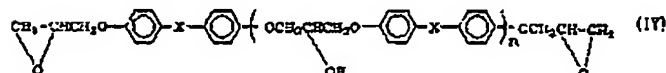
【化9】



(式中、Yは  $-CH_2-O-C(=O)-C_4H_9-C(=O)-O-CH_2-$   $\begin{array}{c} \diagup \quad \diagdown \\ \diagdown \quad \diagup \end{array}$  または



【化10】



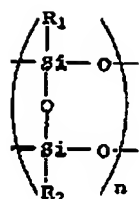
$-CH_2-$  である。)

【請求項27】 前記コアおよびクラッドを構成する高分子材料を、それぞれ下記構造式(V)または(VI)で表される繰り返し単位を有するポリシロキサン、あるいは同構造式(V)または(VI)で表される繰り返し単位の共重合ポリシロキサン、およびこれらの混合物からなる群から選ばれた高分子とし、前記クラッドを構成する

高分子材を前記コアの高分子材料より屈折率が小さいものとすることを特徴とする請求項24に記載の光路変換素子の作製方法。

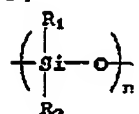
【化11】

9



(V)

【化12】



(VI)

(式中、R<sub>1</sub>、R<sub>2</sub>は同一または異なり、C、Y、...、(Yは水素、重水素もしくはハロゲン、nは5以下の正の整数を表す)で表されるアルキル基、重水素化アルキル基またはハロゲン化アルキル基、あるいはC、Y、...、(Yは水素、重水素もしくはハロゲンを表す)で表されるフェニル基、重水素化フェニル基またはハロゲン化フェニル基である。)

【請求項28】 前記コアを構成する高分子材料を前記構造式(I)で表される高分子とし、前記クラッドを構成する高分子材料を前記構造式(II)～(IV)からなる混合物、あるいは(II)～(IV)から選ばれた一種を光硬化して得られたエポキシ樹脂としたことを特徴とする請求項24に記載の光路変換素子の作製方法。

【請求項29】 前記コアを構成する高分子材料を、前記構造式(V)または(VI)で表される繰り返し単位を有するポリシロキサン、あるいは同構造式(V)または(VI)で表される繰り返し単位の共重合ポリシロキサン、およびこれらの混合物からなる群から選ばれた高分子とし、前記クラッドを構成する高分子材料を前記構造式(II)～(IV)からなる混合物、あるいは(II)～(IV)から選ばれた一種を光硬化して得られたエポキシ樹脂とすることを特徴とする請求項24に記載の光路変換素子の作製方法。

【請求項30】 前記傾斜端面を形成した後、高温に熱したことを該傾斜端面に於て該傾斜端面表面を平滑化することを特徴とする請求項24ないし29のいずれかに記載の光路変換素子の作製方法。

【請求項31】 前記傾斜端面を形成した後、該傾斜端面を有機溶媒中に浸漬し該傾斜端面表面を平滑化することを特徴とする請求項24ないし29のいずれかに記載の光路変換素子の作製方法。

【請求項32】 前記傾斜端面を形成した後、該傾斜端面をフッ酸緩衝液中に浸漬し該傾斜端面表面を平滑化することを特徴とする請求項22および23のいずれかに記載の光路変換素子の作製方法。

【請求項33】 前記傾斜端面形成後、該傾斜端面に金属をコーティングすることを特徴とする請求項17ないし

(5)

特開平10-300961

10

し32のいずれかに記載の光路変換素子の作製方法。

【請求項34】 前記光導波路が、平面型光導波路であることを特徴とする請求項17ないし33のいずれかに記載の光路変換素子の作製方法。

【請求項35】 前記光導波路が、光ファイバであることを特徴とする請求項17ないし33のいずれかに記載の光路変換素子の作製方法。

【請求項36】 前記光ファイバの切削加工部を含む先端部を、接着フィルムを用いて平面基板上に固定し、その後、刃先に傾斜角が設けられたブレードを該光ファイバに対して垂直に当てて切削加工を行うことを特徴とする請求項35に記載の光路変換素子の作製方法。

【請求項37】 前記接着フィルムが、紫外線分解型接着フィルムであることを特徴とする請求項36に記載の光路変換素子の作製方法。

【請求項38】 前記光ファイバの切削加工部を含む先端部を、紫外線硬化樹脂または熱硬化樹脂を用いて平面基板上に固定し、その後、刃先に傾斜角が設けられたブレードを該光ファイバに対して垂直に当てて切削加工を行うことを特徴とする請求項35に記載の光路変換素子の作製方法。

【請求項39】 所望の傾斜角を有する光路変換用の傾斜端面を具備する光導波路を有し、前記傾斜端面における反射を利用して、前記光導波路を伝播する光の光路を変換して該光導波路の平面外に出射するか、あるいは該光導波路の平面外から入射する光の光路を変換して該光導波路へ結合する機能を有する光路変換素子の作製において、前記傾斜端面をダイシングソーを用いた切削加工により形成するための光路変換素子作製用のブレードであって、

刃先の少なくとも片側が所定の角度傾斜されていることを特徴とする光路変換素子作製用のブレード。

【請求項40】 前記刃先の傾斜角が、前記光導波路の光軸に垂直な面に対する前記傾斜端面の所望の傾斜角よりも小さく設定されていることを特徴とする請求項39に記載のブレード。

【請求項41】 前記刃先の傾斜角が、前記光導波路の光軸に垂直な面に対する傾斜端面の所望の傾斜角よりも0°～2°小さく設定されていることを特徴とする請求項40に記載のブレード。

【請求項42】 砥粒として平均粒径が1μm～5μmのダイヤモンド粒を有することを特徴とする請求項39ないし41のいずれかに記載のブレード。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、光を利用した通信や、計測、情報処理などに用いられる光路変換機構を有する光導波路からなる光路変換素子およびその作製法に関するものである。

【0002】

(7)

特開平10-300961

11

【従来の技術】前記光路変換機構を有する光導波路としては、平面型光導波路とファイバ型光導波路とがある。以下、本発明で単に光導波路と記した場合は、これら平面型光導波路とファイバ型光導波路とを含むものとし、それぞれを特に示す場合は、一方を平面型光導波路と記し、他方をファイバ型光導波路もしくは光ファイバと記す。

【0003】平面型光導波路やファイバ型光導波路に45度の傾斜端面を設けることにより作製される45度マイクロミラーは、コンパクトに90度の光路変換が行える。そのため、前記マイクロミラーを具備する平面型光導波路からなる光路変換素子やファイバ型光導波路からなる光路変換素子は、光モジュールの高集積化、組立コストの削減等に有効な素子であると期待されている。特に近年、多チャンネル光送受信器をコンパクトかつ低価格で作製するために、アレイ化された面発光形（面受光形）光素子と、これら発光（受光）素子の発光（受光）面に対して水平方向に配置された光導波路とを、該光導波路の端面に作製された45度マイクロミラーにより結合させるという構造の光送受信器の研究開発が盛んに行われている。

【0004】平面型光導波路端面に45度のマイクロミラーを作製する技術としては、（1）マイクロトームにより機械的に端面を斜めに切断する方法（B.L.Booth, "Polymers for integrated optical waveguides", in Polymers for Electronic and Photonic Applications, C. P. Wong, Ed., New York: Academic, 1993, pp. 549-599参照）や、（2）反応性イオンエッチングにより作製する方法（H. Takahara et al, Proc. of SPIE, vol.1849, 70-78(1993) 参照）や、（3）レーザアブレーション法や、（4）薄い回転ブレードで45度切れ込みを入れる方法（三上修ら、「光集積技術の展望」、信学技報、OFE95-47(1995-08) 参照）が報告されている。

【0005】図1および図2は、マイクロトームにより機械的に端面を斜めに切断する方法（1）を説明する図面である。図中、201はフィルム導波路を示し、202は刃を示す。203は、刃202による切断加工により、端面にマイクロミラーが形成されたフィルム導波路である。この図1、図2に示す方法は、切断方向に対して45度傾けて固定されたフィルム導波路201を、刃202を用いて切断することにより、マイクロミラーを形成するものである。この方法（1）は簡便な方法ではあるが、（1-i）ガラス等の硬質な材料で作製された光導波路やシリコンやガラス等の硬質の基板上に支持された光導波路に対しては適用できない。（1-ii）同一試料中に複数の導波路が並行して形成されている場合、それら全ての導波路に対して傾斜端面ミラーを形成することはできるが、それらの内の一部の導波路に対してのみ傾斜端面ミラーを形成することはできない。（1-iii）ミラーを形成する位置を高精度に位置決めすること

12

が難しい、（1-iv）切断面の平滑性に限度があるために反射損がやや大きくなる、という問題がある。

【0006】一方、反応性イオンエッチングによりミラーを形成する方法（2）では、（2-i）工程が複雑であり、時間がかかる、（2-ii）エッチングの条件決めが難しく、ミラーの傾斜角度を精度良く作製することが難しい、という問題がある。

【0007】また、レーザアブレーション法（3）では、（3-i）装置が高価で、作製に時間がかかる、（3-ii）エッチングの条件決めが難しく、材料毎に大幅な作製装置、条件変更が必要になる、という問題がある。

【0008】図3および図4は、平面型光導波路に、回転ブレードで45度の切れ込みを入れることにより、マイクロミラーを作製する方法（4）を説明する図面である。図中、204は基板、205は下部クラッド、206はコア、207は上部クラッド、208は回転ブレード、209は45度の切れ込みを、それぞれ示す。この方法は、回転ブレード208に対し、平面型光導波路の光軸が45度の角度を有するように試料を固定し、回転ブレード208を用いて45度に切削することにより、コア、クラッドからなる導波路に45度の切れ込み209を形成する方法である。この方法（4）は、適当なブレードを選定することにより、平滑性に優れたミラー面を形成できるという利点を有するが、（4-i）試料の固定法が難しく、特別な工夫を要した装置を必要とする。（4-ii）角度の制御が難しい。（4-iii）傾斜端面を形成しているのが、狭い切れ込み溝であるので、二次加工により傾斜端面を平滑化することが困難である、という問題がある。

【0009】一方、光ファイバ端面に45度傾斜端面ミラーを作製する技術としては、研磨器を用いて端面を斜め研磨する方法（5）が考案されている（K.P.Jackson et al., Proc. of SPIE, vol.994, 40-47(1988) 参照）。この方法は、平滑な光学鏡面が得られるため広く用いられているものの、（5-i）傾斜端面ミラーを作製する位置精度が出しにくい、（5-ii）ミラー面の微妙な傾斜角の制御が難しい、（5-iii）一度に多数の試料を研磨することは難しく、研磨には時間を要するため、生産性が低い、（5-iv）樹脂によりシートまたはボード中に光ファイバが埋め込まれたファイバシートやファイバボードの光路の途中の局所にミラー加工を施すことは方法上不可能である、という問題がある。

【0010】また、低価格化をめざした光送受信モジュールに通常用いられる面発光レーザは発振波長が、850nm帯である。このため導波路材料としては、この波長域で低損失であることが重要となる。例えば、耐熱性の高分子材料として知られているポリイミドでは、電子遷移の吸収が紫外領域から可視領域にまで及び、0.85μm帯では1dB/cm程度と損失が高い。そのため、

(8)

特開平10-300961

13

従来用いられている材料からなる光導波路は、光路変換素子を構成する光導波路として使用するには、不適当であった。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】以上説明したように、従来の平面型導波路型光路からなる変換素子において、切断加工によりマイクロミラーを形成する方法(1)には、(1-i)硬質の材料を使って作製されたあるいは硬質の基板に支持された光導波路に対して適用できない、(1-ii)光路の途中部分に傾斜面ミラーを加工できない、(1-iii)ミラーを作製する位置の精度を出すことが難しい、(1-iv)切断面の荒れに起因する反射損失がやや大きい、という問題があった。

【0012】また、反応性イオンエッチングによりマイクロミラーを形成する方法(2)では、(2-i)工程が複雑であり時間がかかる、(2-ii)条件決めが難しく、ミラーの傾斜角度を所望の角度に精度良く合わせることが難しい、という問題があった。

【0013】また、レーザアブレーション法(3)では、(3-i)装置が高価で、作製に時間がかかる、(3-ii)エッチングの条件決めが難しく、材料毎に大幅な作製装置、条件変更が必要になる、という問題がある。

【0014】さらに、回転ブレードで平面型光導波路に45度の切れ込みを入れることによりマイクロミラーを作製する方法(4)では、(4-i)試料の固定法が難しく、特別な工夫を講じた装置を必要とする、(4-ii)角度の制御が難しい、(4-iii)傾斜端面を形成しているのが、狭い切れ込み溝であるので、二次加工により傾斜端面を平滑化することが困難である、という問題があった。

【0015】また、従来の光ファイバ型光導波路からなる光路変換素子は、その傾斜端面ミラーを斜め研磨により形成しているが、この斜め研磨方法(5)には、(5-i)ミラーを作製する位置精度が出しにくい、(5-ii)ミラー面の微少な傾斜角の制御が難しい、(5-iii)一度に多数の試料を研磨することは難しく、研磨には時間を要するため、生産性が低い、(5-iv)樹脂によりシートまたはボード中に光ファイバが埋め込まれたファイバシートやファイバボードの光路の途中の局所にミラー加工を施すことは方法上不可能である、という問題があった。

【0016】本発明は、このような現状に鑑みてなされたものであり、光素子を構成する平面型光導波路や光ファイバの所望の位置に所望の傾斜角度を有する傾斜端面(マイクロミラー)を簡単に精度良く作製する方法を提供すること、および、その結果得られる独特な形状を有し、その形状により従来の光路変換素子では得られない作用効果を得ることのできる光路変換素子を提供することを、課題とする。

14

【0017】また、本発明は、光インターコネクションや光通信の分野で用いられる0.85 $\mu$ m帯、1.3 $\mu$ m帯、および1.55 $\mu$ m帯での伝搬損失の低い材料からなる光路変換素子を提供することを、課題とする。

【0018】さらに、好適な光路変換素子を作製するために必要な加工工具を提供することも、本発明の課題である。

【0019】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するために、本発明の請求項1の光路変換素子は、所望の傾斜角を有する光路変換用の傾斜端面を具備する光導波路を有し、前記傾斜端面における反射を利用して、前記光導波路を伝搬する光の光路を変換して該光導波路の平面外に出射するか、あるいは該光導波路の平面外から入射する光の光路を変換して該光導波路へ結合する機能を有する光路変換素子であって、前記光導波路には、前記光導波路の光軸に垂直な面に対して僅かな傾斜を有する入出射面が前記傾斜端面に対向して形成され、前記入出射面と前記傾斜端面とにより前記光導波路にV状の溝が形成されていることを特徴とする。

【0020】本発明の請求項2の光路変換素子は、前記請求項1の素子において、前記入出射面が前記光導波路光軸と垂直な面に対して傾斜する角度が、1度～30度であることを特徴とする。

【0021】本発明の請求項3の光路変換素子は、前記請求項1または2の素子において、前記V状の溝に前記光導波路のコア材料に近い屈折率を有する物質が充填されていることを特徴とする。

【0022】本発明の請求項4の光路変換素子は、前記請求項3の素子において、前記光導波路のコア材料に近い屈折率を有する物質が樹脂であることを特徴とする。

【0023】また、本発明の請求項5の光路変換素子は、所望の傾斜角を有する光路変換用の傾斜端面を具備する光導波路を有し、前記傾斜端面における反射を利用して、前記光導波路を伝搬する光の光路を変換して該光導波路の平面外に出射するか、あるいは該光導波路の平面外から入射する光の光路を変換して該光導波路へ結合する機能を有する光路変換素子であって、前記光導波路には、前記光導波路の光軸にほぼ垂直な入出射面が前記傾斜端面に対向して形成され、前記入出射面と前記傾斜端面とにより前記光導波路にV状の溝が形成され、該溝に前記光導波路のコア材料に近い屈折率を有する物質が充填されていることを特徴とする。

【0024】本発明の請求項6の光路変換素子は、前記請求項5の素子において、前記光導波路のコア材料に近い屈折率を有する物質が樹脂であることを特徴とする。

【0025】本発明の請求項7の光路変換素子は、前記請求項1ないし6のいずれかの素子において、前記光導波路が平面型光導波路であることを特徴とする。

【0026】本発明の請求項8の光路変換素子は、前記

(9)

特開平10-300961

15

16

請求項1ないし6のいずれかの素子において、前記光導波路が光ファイバであることを特徴とする。

【0027】本発明の請求項9の光路変換素子は、前記請求項1ないし8のいずれかの素子において、前記光導波路のコアならびにクラッドがガラス系材料から構成されていることを特徴とする。

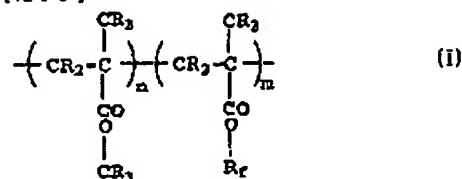
【0028】本発明の請求項10の光路変換素子は、前記請求項1ないし8のいずれかの素子において、前記光導波路のコアがガラス系材料から構成され、クラッドが高分子材料から構成されていることを特徴とする。

【0029】本発明の請求項11の光路変換素子は、前記請求項1ないし8のいずれかの素子において、前記光導波路のコアならびにクラッドが高分子材料から構成されていることを特徴とする。

【0030】本発明の請求項12の光路変換素子は、前記請求項11の素子において、前記コアおよびクラッドを構成する高分子材料がそれぞれ下記構造式(1)で表される高分子であり、前記クラッドを構成する高分子材料が前記コアの高分子材料より屈折率が小さいことを特徴とする。

【0031】

\*【化13】

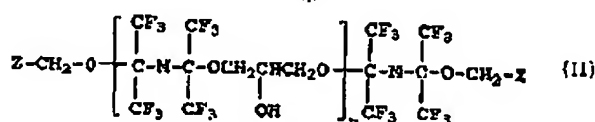


【0032】(式中、 $n$ 、 $m$ は $n+m=1$ の関係にあり、 $0 \leq n$ 、 $m \leq 1$ を満足する正数を表す。また、 $R$ は置水素あるいは水素を表し、 $R_f$ はC、F、...で表される置換基を示し、 $s$ は1以上の整数である。)

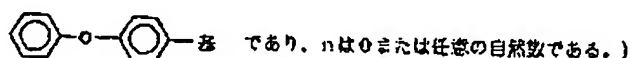
10 本発明の請求項13の光路変換素子は、前記請求項11の素子において、前記コアおよびクラッドを構成する高分子材料がそれぞれ下記構造式(II)~(IV)からなる混合物、あるいは(II)~(IV)から選ばれた一種を光硬化して得られたエポキシ樹脂であり、前記クラッドを構成する高分子材料が前記コアの高分子材料より屈折率が小さいことを特徴とする。

【0033】

20 \*【化14】



(式中、Zは  $\text{CH}_2-\text{CH}-\text{基}$  であり、Mは  $\text{—}\bigcirc\text{—}$  基 または



【0034】

【化15】

17

(10)

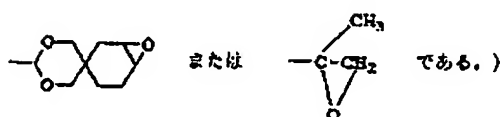
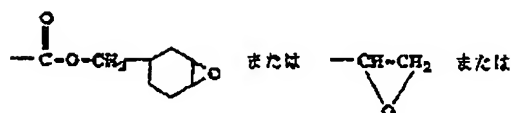
特開平10-300961

18



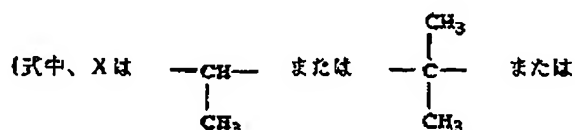
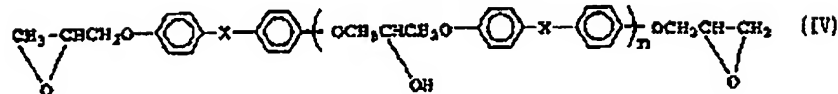
(III)

(式中、Yは  $-\text{CH}_2-\text{O}-\text{C}(=\text{O})-\text{C}_6\text{H}_4-\text{C}(=\text{O})-\text{O}-\text{CH}_2-$  または



【0035】

\* \* 【化16】

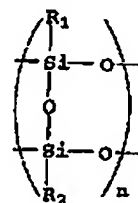


$-\text{CH}_2-$  である。)

【0036】本発明の請求項14の光路変換素子は、前記請求項11の素子において、前記コアおよびクラッドを構成する高分子材料が、それぞれ下記構造式(V)または(VI)で表される繰り返し単位を有するポリシロキサン、あるいは同構造式(V)または(VI)で表される繰り返し単位の共重合ポリシロキサン、およびこれらの混合物からなる群から選ばれた高分子であり、前記クラッドを構成する高分子材料が前記コアの高分子材料より屈折率が小さいことを特徴とする。

【0037】

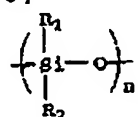
【化17】



(V)

【0038】

【化18】



(VI)

【0039】(式中、R<sub>1</sub>、R<sub>2</sub>は同一または異なり、50 C. Y<sub>1,n-1</sub>(Yは水素、重水素もしくはハロゲン、nは

(11)

特開平10-300961

19

5以下の正の整数を表す)で表されるアルキル基、重水素化アルキル基またはハロゲン化アルキル基、あるいはC、Y、(Yは水素、重水素もしくはハロゲンを表す)で表されるフェニル基、重水素化フェニル基またはハロゲン化フェニル基である。)

本発明の請求項15の光路変換素子は、前記請求項11の素子において、前記コアを構成する高分子材料が前記構造式(I)で表される高分子であり、前記クラッドを構成する高分子材料が前記構造式(II)～(IV)からなる混合物、あるいは(II)～(IV)から選ばれた一種を光硬化して得られたエポキシ樹脂であることを特徴とする。

【0040】本発明の請求項16の光路変換素子は、前記請求項11の素子において、前記コアを構成する高分子材料が、前記構造式(V)または(VI)で表される繰り返し単位を有するポリシロキサン、あるいは同構造式(V)または(VI)で表される繰り返し単位の共重合ポリシロキサン、およびこれらの混合物からなる群から選ばれた高分子であり、前記クラッドを構成する高分子材料が前記構造式(II)～(IV)からなる混合物、あるいは(II)～(IV)から選ばれた一種を光硬化して得られたエポキシ樹脂であることを特徴とする。

【0041】また、本発明の請求項17の光路変換素子の作製方法は、所望の傾斜角を有する光路変換用の傾斜端面を具備する光導波路を有し、前記傾斜端面における反射を利用して、前記光導波路を伝搬する光の光路を変換して該光導波路の平面外に出射するか、あるいは該光導波路の平面外から入射する光の光路を変換して該光導波路へ結合する機能を有する光路変換素子の作製方法であって、刃先の少なくとも片側が所定の角度傾斜されたブレードを前記光導波路に対して垂直に当てて切削加工を行うことにより、前記光導波路に少なくとも片側内面が前記所望の傾斜端面となるV状の溝を形成することを特徴とする。

【0042】本発明の請求項18の光路変換素子の作製方法は、前記請求項17の方法において、前記ブレードによる切削加工は、ダイシングソーを用いて行うことを特徴とする。

【0043】本発明の請求項19の光路変換素子の作製方法は、前記請求項17または18の方法において、前記刃先の傾斜角を、前記光導波路の光軸に垂直な面に対する前記傾斜端面の所望の傾斜角よりも小さく設定することを特徴とする。

【0044】本発明の請求項20の光路変換素子の作製方法は、前記請求項19の方法において、前記刃先の傾斜角を、前記光導波路の光軸に垂直な面に対する傾斜端面の所望の傾斜角よりも0°～2°小さく設定することを特徴とする。

【0045】本発明の請求項21の光路変換素子の作製方法は、前記請求項17ないし20のいずれかの方法に

20

において、前記切削加工に用いるブレードとして、平均粒径が1μm～5μmのダイヤモンド粒を有するダイヤモンドブレードを用いることを特徴とする。

【0046】本発明の請求項22の光路変換素子の作製方法は、前記請求項17ないし21のいずれかの方法において、前記光導波路がコアならびにクラッドをガラス系材料で構成することを特徴とする。

【0047】本発明の請求項23の光路変換素子の作製方法は、前記請求項17ないし21のいずれかの方法において、前記光導波路のコアをガラス系材料から構成し、クラッドを高分子材料から構成することを特徴とする。

【0048】本発明の請求項24の光路変換素子の作製方法は、前記請求項17ないし21のいずれかの方法において、前記光導波路のコアならびにクラッドを高分子材料から構成することを特徴とする。

【0049】本発明の請求項25の光路変換素子の作製方法は、前記請求項24の方法において、前記コアおよびクラッドを構成する高分子材料をそれぞれ前記構造式(I)で表される高分子とし、前記クラッドを構成する高分子材料を前記コアの高分子材料より屈折率が小さいものとすることを特徴とする。

【0050】本発明の請求項26の光路変換素子の作製方法は、前記請求項24の方法において、前記コアおよびクラッドを構成する高分子材料をそれぞれ前記構造式(II)～(IV)からなる混合物、あるいは(II)～(IV)から選ばれた一種を光硬化して得られたエポキシ樹脂とし、前記クラッドを構成する高分子材料を前記コアの高分子材料より屈折率が小さいものとすることを特徴とする。

【0051】本発明の請求項27の光路変換素子の作製方法は、前記請求項24の方法において、前記コアおよびクラッドを構成する高分子材料を、それぞれ前記構造式(V)または(VI)で表される繰り返し単位を有するポリシロキサン、あるいは同構造式(V)または(VI)で表される繰り返し単位の共重合ポリシロキサン、およびこれらの混合物からなる群から選ばれた高分子とし、前記クラッドを構成する高分子材料を前記コアの高分子材料より屈折率が小さいものとすることを特徴とする。

【0052】本発明の請求項28の光路変換素子の作製方法は、前記請求項24の方法において、前記コアを構成する高分子材料を前記構造式(I)で表される高分子とし、前記クラッドを構成する高分子材料を前記構造式(II)～(IV)からなる混合物、あるいは(II)～(IV)から選ばれた一種を光硬化して得られたエポキシ樹脂としたことを特徴とする。

【0053】本発明の請求項29の光路変換素子の作製方法は、前記請求項24の方法において、前記コアを構成する高分子材料を、前記構造式(V)または(VI)で表される繰り返し単位を有するポリシロキサン、あるいは



(12)

特開平10-300961

21

は同構造式(V)または(VI)で表される繰り返し単位の共重合ポリシロキサン、およびこれらの混合物からなる群から選ばれた高分子とし、前記クラッドを構成する高分子材料を前記構造式(II)～(IV)からなる混合物、あるいは(II)～(IV)から選ばれた一種を光硬化して得られた高分子とすることを特徴とする。

【0054】本発明の請求項30の光路変換素子の作製方法は、前記請求項24ないし29のいずれかの方法において、前記傾斜端面を形成した後、高温に熱したことを該傾斜端面にあて該傾斜端面表面を平滑化することを特徴とする。

【0055】本発明の請求項31の光路変換素子の作製方法は、前記請求項24ないし30の方法において、前記傾斜端面を形成した後、該傾斜端面を有機溶媒中に浸漬し該傾斜端面表面を平滑化することを特徴とする。

【0056】本発明の請求項32の光路変換素子の作製方法は、前記請求項22および23のいずれかの方法において、前記傾斜端面を形成した後、該傾斜端面をフッ酸緩衝液中に浸漬し該傾斜端面表面を平滑化することを特徴とする。

【0057】本発明の請求項33の光路変換素子の作製方法は、前記請求項17ないし32のいずれかの方法において、前記傾斜端面形成後、該傾斜端面に金属をコーティングすることを特徴とする。

【0058】本発明の請求項34の光路変換素子の作製方法は、前記請求項17ないし33のいずれかの方法において、前記光導波路が、平面型光導波路であることを特徴とする。

【0059】本発明の請求項35の光路変換素子の作製方法は、前記請求項17ないし33のいずれかの方法において、前記光導波路が、光ファイバであることを特徴とする。

【0060】本発明の請求項36の光路変換素子の作製方法は、前記請求項35の方法において、前記光ファイバの切削加工部を含む先端部を、接着フィルムを用いて平面基板上に固定し、その後に刃先に傾斜角が設けられたブレードを該光ファイバに対して垂直に当てて切削加工を行うことを特徴とする。

【0061】本発明の請求項37の光路変換素子の作製方法は、前記請求項36の方法において、前記接着フィルムが、紫外線分解型接着フィルムであることを特徴とする。

【0062】本発明の請求項38の光路変換素子の作製方法は、前記請求項35の方法において、前記光ファイバの切削加工部を含む先端部を、紫外線硬化樹脂または熱硬化樹脂を用いて平面基板上に固定し、その後に刃先に傾斜角が設けられたブレードを該光ファイバに対して垂直に当てて切削加工を行うことを特徴とする。

【0063】また、本発明の請求項39の光路変換素子作製用のブレードは、所望の傾斜角を有する光路変換用

22

の傾斜端面を具備する光導波路を有し、前記傾斜端面における反射を利用して、前記光導波路を伝搬する光の光路を変換して該光導波路の平面外に出射するか、あるいは該光導波路の平面外から入射する光の光路を変換して該光導波路へ結合する機能を有する光路変換素子の作製において、前記傾斜端面をダイシングソーを用いた切削加工により形成するための光路変換素子作製用のブレードであって、刃先の少なくとも片側が所定の角度傾斜されていることを特徴とする。

【0064】本発明の請求項40の光路変換素子作製用のブレードは、前記請求項39のブレードにおいて、前記刃先の傾斜角が、前記光導波路の光軸に垂直な面に対する前記傾斜端面の所望の傾斜角よりも小さく設定されていることを特徴とする。

【0065】本発明の請求項41の光路変換素子作製用のブレードは、前記刃先の傾斜角が、前記光導波路の光軸に垂直な面に対する傾斜端面の所望の傾斜角よりも $0^\circ \sim 2^\circ$ 小さく設定されていることを特徴とする。

【0066】本発明の請求項42の光路変換素子作製用のブレードは、砥粒として平均粒径が $1\mu\text{m} \sim 5\mu\text{m}$ のダイヤモンド粒を有することを特徴とする。

【0067】

【発明の実施の形態】本発明を図面に基づき、さらに詳しく説明する。

【0068】まず、光路変換素子として、片側端面に45度マイクロミラーを有する平面型高分子光導波路からなる光路変換素子について、その作製方法の例を、図面を用いて説明する。

【0069】図5は、基板1上に作製された平面型高分子光導波路の上面図を示す。図5中のA-A'線は、これからマイクロミラーを形成する位置を表しており、近辺に位置合わせ用のマーカー2が、平面型光導波路作製時に作り込まれている。

【0070】図6は、図5に示した平面型光導波路のコア3上のB-B'線に沿って切った断面図を表す。図中、4は上部クラッド、5は下部クラッドを表す。マーカー2を目印にしてA-A'線に沿って、図7に示すように、刃先がおよそ90度に加工された本発明のダイヤモンドブレード40を用いて切削加工を行うと、平面型光導波路に傾斜端面(マイクロミラー)6、6を有するV溝12aが形成される。

【0071】切削加工は、LSIチップの切り出し等に用いられているダイシングソー等の切削加工機を用いると良い。ダイシングソーは、高性能ステージを具備しているので、このようなダイシングソーを用いれば、水平方向、高さ方向ともにサブミクロン・オーダーの位置精度で切削加工することも可能である。ここで用いるダイシングソーとしては、LSIチップの切り出し等に用いられている汎用のダイシングソーで良く、ブレードを本発明のブレードに変えればよい。

(13)

特開平10-300961

23

【0072】試料固定法等に特別な工夫を必要としない点は、本発明の大きな利点の一つである。また、ここで、切削加工の深さは、コア3と下部クラッド5の境界面よりも深くすれば良く、下部クラッド5中で止めても良いし、基板1まで切り込んでも構わない。このように適当な材質のブレードを選択して使うことにより、高分子の様な軟質の材料も、シリコンやガラスのような硬質の材料も、また、シリコン基板上の高分子等の複合材料も同時に加工できるという点は、切削加工の利点の一つである。また、径径の細かいダイヤモンドブレードは、

【0073】マイクロミラーが形成された平面型光導波路を基板1から剥離すれば、図8に示すような45度マイクロミラー付きの光導波路フィルムができる。45度マイクロミラーは、図8に示すように、平面型光導波路を伝搬する光7を下方に90度光路変換する機能を有する。また、この45度マイクロミラーは、逆に、下方から空間を伝搬してきた光8を90度光路変換して平面型光導波路に結合させる機能を有する。

【0074】また、基板1がガラスなど光を透過する材質でできている場合は、必ずしも平面型光導波路を剥離してフィルム状にする必要はなく、図9に示すように、基板1が付いたままでも、内部伝搬光10や外部入射光11をそれぞれ傾斜端面9で90度光路変換を行う機能を有する平面型光導波路として使うことができる。なお、この図9に示すような傾斜端面9とこの傾斜端面9に対向するほぼ垂直な面9aとからなる形状のV溝12bを平面型光導波路の途中に形成するには、用いるブレードとして、その断面形状が片面のみが傾斜されるとともに他面がほぼ垂直にされたブレードを選択する必要がある。

【0075】ここまでは、本発明の光路変換素子が平面型光導波路からなる場合について、本発明の構成を簡単に説明した。次に、本発明の光路変換素子が光ファイバからなる場合について、本発明の構成を説明する。

【0076】片側に45度傾斜端面ミラーを有する光ファイバからなる光路変換素子の作製方法の例を図面を用いて説明する。

【0077】図10(A)は先端部が基板上に固定された光ファイバの上面図である。図中、21は基板、22は光ファイバ、23は被覆を剥離した光ファイバ22の先端部、24は光ファイバの先端部23を固定するための接着フィルムである。A-A'は傾斜端面ミラーを形成すべき位置を表す。

24

【0078】図10(B)は図10(A)のA-A'における断面図である。25は光ファイバのコア、26はクラッドである。

【0079】図10(A)ないし(B)に示すように、光ファイバ22は、その先端部23を基板21上に、接着フィルム24により固定されている。ここで、基板21としては、シリコンやガラスまたは厚い樹脂等の硬質の基板はもちろんのこと、薄い樹脂等でできた可塑性のあるフィルム等も用いることができる。

【0080】その後、A-A'に沿って、図11に示すように、刃先がその断面がおよそ90度のV字形に加工された本発明のダイヤモンドブレードを用いて切削加工を行うと、図11(A)に示すように、光ファイバ22の端面に45度傾斜端面ミラー27が形成される。

【0081】切削加工は、前述のように、LSIチップの切り出し等に用いられているダイシングソー等の切削加工機を用いると良い。また、試料固定法等に特別な工夫を必要としない点は、前述の平面型光導波路における場合と同様に、本発明の大きな利点の一つである。

【0082】適当な材質のブレードを選定して使うことにより、高分子のような軟質の材料も、シリコンやガラスのような硬質の材料も、また、シリコン基板上に樹脂の接着剤で固定されたガラス系光ファイバや樹脂中にガラス系の光ファイバが固定された光ファイバシート等の複合材料も同時に加工できるという点は切削加工の利点の一つである。従って、本発明方法は、ガラス系の光ファイバにも、プラスチック光ファイバにも、プラスチックをクラッド、ガラス系材料をコアとする光ファイバにも用いることができる。また、光ファイバを固定する基板がシリコンであっても、ガラス系の材料であっても樹脂系の材料であっても用いることができる。

【0083】さらにまた、径径の細かいダイヤモンドブレードは、レンズ等の光学部品の研磨に用いられる非常に目の細かい研磨紙に匹敵する繊細さを有しているから、このような目の細かいブレードを使うことにより、切削加工という加工工程は、傾斜端面の削りだしと、光学グレードの高品質な表面研磨を同時に行っていることと同等の効果がある。従って、非常に平滑度の高い加工表面を得ることが出来る。

【0084】傾斜端面ミラーを形成した後、接着フィルム24を剥離し、光ファイバ22と基板21を分離すれば、図11(B)に示すような傾斜端面ミラー付き光ファイバを作製できる。45度傾斜端面ミラー27は、図11(B)に示すように、光ファイバ22を伝搬する光28を下方に90度光路変換する機能を有する。また、この45度傾斜端面ミラー27は、逆に、下方から空間を伝搬してきた光29を90度光路変換して光ファイバに結合させる機能を有する。また、基板21がガラスや透明な樹脂など光を透過する材質でできている場合は、必ずしも接着フィルム24を剥離する必要はなく、図1

(14)

特開平10-300961

25

1 (A) のように、基板21が付いたままでも90度光路変換機能を有する光ファイバとして使うことができる。

【0085】通常、光ファイバには補強のため被覆が付けられている。上記の例において、切削加工部の被覆は基板上に固定する前に剥離したが、必ずしも事前に剥離する必要はない。前述したように、本発明の方法は、ガラスと樹脂からなる材料のような複合材料であっても適用することができるから、被覆が付いたままの光ファイバを基板上に固定し、切削加工により傾斜端面を作製することもできる。ただし、被覆材が透明性に劣る場合、傾斜端面近くの被覆が、傾斜端面ミラーを介して光ファイバに入射する光を遮ることになるから、このような場合は、切削加工後に光ファイバ先端部の被覆を剥離する。

【0086】上記の接着フィルム剥離工程を効率良く行うためには、適当な接着力をもつ接着フィルムを選定する必要があるが、例えば、紫外線を吸収することにより接着剤が分解して接着力が低下する紫外線分解型接着フィルム等を用いると、切削加工後に紫外線を照射することにより、簡単にフィルムを剥離することができるので便利である。

【0087】または、接着フィルムの代わりに、紫外線硬化樹脂や熱硬化樹脂などの接着剤を用いて光ファイバの固定を行ってもよい。この場合、切削加工後の光ファイバと基板との分離工程は、溶剤で前記接着剤を溶かすことにより行っても良いし、あるいは、接着剤ごと基板から剥離しても良い。この場合、基板1がガラスや透明な樹脂など光を透過する材料でできている場合は、必ずしも剥離して光ファイバと基板を分離する必要はなく、図11 (A) のように、基板21が付いたままでも、内部に撮光や外部入射光をそれぞれ傾斜端面27で90度光路変換を行う機構を有する光ファイバとして使うことができる。

【0088】以上、本発明の光路変換素子が光ファイバからなる場合の本発明の構成について簡単に説明した。

【0089】前述のような構成の光路変換素子において、その傾斜端面ミラー（マイクロミラー）の反射率に影響する傾斜面の平滑性は、当然、使用するブレード表面の目の細かさでほぼ決定される。基本的には、使用するブレードを形成するダイヤモンド粒の粒度が細かければ細かい程、より平滑なミラー面が得られるが、過度に細かすぎるブレードを使用すると、目詰まりを起して切削加工ができなかったり、短期間でブレードが消耗したり、切削速度を上げることができない等の問題が生じる。したがって、適切なブレードを選定することが良質のミラー加工を行う上で極めて重要である。

【0090】図12に切削加工に用いたブレード中に含まれているダイヤモンド粒の平均粒径と、ミラー面での反射効率、ならびに目詰まり等の不都合を起すこと

26

なく、良質なミラー面を加工することのできる切削可能な最高速度の関係を示す。

【0091】ダイヤモンド粒の平均粒径が15  $\mu\text{m}$ （粒径10～20  $\mu\text{m}$ の集合）以上の場合、ミラー面の荒れは大きく、反射効率は50%にも満たない。平均粒径が小さくなるにつれ、反射効率は高くなり、平均粒径5  $\mu\text{m}$ （粒径4～6  $\mu\text{m}$ の集合）のブレードを用いた場合、およそ80%の反射効率が得られる。さらに粒度を細かくし、平均粒径が1.5  $\mu\text{m}$ （粒径0～3  $\mu\text{m}$ の集合）程度まで細かくなると、ミラー面は光学的に十分に平滑となり、95%以上の高反射効率が得られる。より細かな粒径のブレードを用いれば、ミラー面はより平滑になるが、光学的特性としては飽和領域にあるため、それ以上の反射効率の向上は微々たるものである。したがって、反射効率の点から考慮すれば、平均粒径は5  $\mu\text{m}$ 以下のブレードを用いて加工を行うことが望ましい。

【0092】一方、粒度の細かいブレードは、粗いブレードに比べて切削力に劣るため、一般に加工速度は遅くなり、ブレードの寿命も短くなる。しかしながら、図12より分かるように、平均粒径1  $\mu\text{m}$ （粒径0～2  $\mu\text{m}$ の集合）以上のブレードを用いた場合、1 mm/sあるいはそれ以上の切削速度で加工することが可能であり、十分に実用的であると考えることができる。したがって、加工効率の点から考えれば、平均粒径は1  $\mu\text{m}$ 以上のブレードを用いて加工を行うことが望ましい。このようにダイヤモンドブレードの場合に、そのダイヤモンド粒の平均粒径が1  $\mu\text{m}$ 以上で5  $\mu\text{m}$ 以下である点が、本発明のブレードの一つの特徴である。

【0093】上述の反射効率、加工効率の双方を加味して考慮すると、平均粒径が1～5  $\mu\text{m}$ のブレードを用いて、加工することが望ましい。

【0094】前記マイクロミラーの形成において、通常はダイシング加工のみで十分実用的な光学表面が得られるが、さらに加工面の平滑性を高くし、より質の高い光学鏡面を作って、反射効率を高める必要がある場合、以下に示す方法が有効である。

【0095】導波路材料が高分子材料の場合、第1の方法は、熱により表面を軟化させる方法である。これは、光導波路のコア材の高分子が若干軟化する程度の温度まで熱した線を加工面に軽く押しつけることにより、簡単にを行うことが出来る。その際、軟化した高分子が強に密着するようであると平滑な表面にはならないので、線の表面にはテフロンコーティング等の密着防止のための処理がなされていることが望ましい。

【0096】第2の方法は、適当な溶媒により表面を軽く溶解させる方法である。これは、光導波路のコア材の高分子が若干溶解する適当な溶媒の中に、加工面を浸漬することにより、簡単にを行うことが出来る。

【0097】導波路材料がガラスの場合は、有機溶媒の代わりにフッ酸緩衝液中に加工面を浸漬し表面を軽く溶

(15)

特開平10-300961

27

解させることにより、表面を平滑化することができる。

【0098】第3の方法は、傾斜面を形成する切削加工に用いたダイヤモンドブレードよりもはるかに平均粒度の細かいダイヤモンドブレードにより傾斜面の仕上げ研磨を行う方法である。この方法は、切削加工により目的の傾斜面を有する溝を形成した後、ブレードを交換して、仕上げ研磨を行うだけで、加工面の平滑性を十分に高めることが可能である。したがって、この方法によれば、加工面の平滑性を向上させるために、別工程に導波路を移さなくてもよく、工程が簡易になる利点がある。

【0099】上記のいずれかの加工法により、極めて優れた平滑性を持つ傾斜端面を形成することができる。このような加工した傾斜端面の平滑性を向上させる作業が可能であるのは、マイクロミラーとする傾斜面を形成するために、ブレードにより切削した結果、光導波路にV溝が形成されるためである。すなわち、傾斜面の上方が大きく開放されている形状が光導波路のミラー面近傍に実現されているためである。したがって、このようなV溝により傾斜面を形成した本発明の光路変換素子では、前述のように、傾斜面を平滑化するさまざまな手段を容易に実行でき、後述のように、傾斜面の鏡面処理も容易に実現でき、また、V溝内に、すなわちミラー面のごく近傍に受光素子や発光素子などの光機能素子を設置できるという実装上の利点も得られる。

【0100】前述の加工法により、傾斜端面を大幅に平滑化することができるが、それでも、傾斜端面の傾斜角、コア、クラッドの屈折率の値によっては、全ての導波モードに対して傾斜端面における全反射条件が満たされない場合がある。このような場合、一部の高次モードの光が傾斜端面において反射されずに透過するため、原理的に100%の反射効率を得ることはできない。この場合、加工面に金、銀、アルミニウム等の高反射率の金属を蒸着等によりコーティングする方法が有効である。これらの高反射膜をコーティングすることにより、100%に近い反射効率を得ることができる。

【0101】前記傾斜端面の傾斜角、すなわちマイクロミラーの傾斜角を所望の角度に精度良く合わせるためには、ブレードの刃先の角度と実際に加工された傾斜端面の角度の関係を把握しておくことが重要である。通常、加工により作製されたV溝の角度は、加工に用いたブレードの刃先の角度より若干大きくなる。これは、ブレードの周方向の寸法誤差と、ダイシングソーの運転時の振動とが主な原因と思われる。

【0102】図13に、加工に用いたブレードの頂角と、実際に加工されたV溝の頂角の関係を示す。適正な粒度のブレードを用いた場合、V溝の頂角はブレードの頂角より2度程度大きくなり、ばらつきは2度以内に抑制されている。したがって、頂角が88度のブレードを用いて加工を行えば、傾斜角45度の傾斜面を有するミラーを±1度の精度で再現性よく作製することができ

28

る。このようにして、誤差1度以内で所望の傾斜角のマイクロミラーを形成することができる。ここで言う「適正な粒度のブレード」とは、前述した平均粒径5μm以下で1μm以上の本発明のブレードのことを示す。より粒度の粗いブレードを用いた場合は、ブレード頂角とV溝頂角の変換差はより大きくなり、ばらつき、繰り返し誤差も大きくなるため、高精度にミラーの傾斜角を制御することは困難になる。したがって、ミラー傾斜角の制御という観点から考慮しても、平均粒径5μm以下のブレードを用いて加工することが望ましい。本発明のブレードの一つの特徴は、前述のように、その構成ダイヤモンド粒子の平均粒径が1〜5μmであることである。さらに、本発明のブレードの他の特徴は、前述の傾斜角の加工精度との関係から、傾斜面を形成するブレードの側面傾斜角が(所望の角度)−1度、すなわち、45度ミラーを作製したい場合は44度形成されていることである。したがって、対称型のV溝を形成する場合は、ブレードの刃先角度は、{(所望の角度)−1}×2度、すなわち、45度ミラーが所望の場合は88度に設定するのが最も良い。実用的なミラーを提供するためには、ミラーの傾斜角は(所望の角度)±2度以内に抑制することが必要なので、これを考慮すると、ブレードの側面傾斜角は、{(所望の角度)−2度}以上{(所望の角度)以下に設定しなくてはならない。

【0103】前述のようにして作製した光路変換素子は、例えば、平面型光導波路の場合、図14に示すように、実装基板42上に搭載されることにより、同じく実装基板42上に搭載された面発光レーザー43から出射されたレーザー光44の光路を傾斜端面6により変換し、光導波路に結合させて伝搬光45aとする光送信モジュールや、逆に、図15に示すように、実装基板46上に搭載されることにより、光導波路中に導波する光47の光路を傾斜端面6により変換し、同じく実装基板46上に搭載されたフォトダイオード49に結合させる光受信モジュール等が構成する部品として用いることができる。

【0104】同様に、光ファイバの場合、図16に示すように、実装基板42上に搭載されることにより、同じく実装基板42上に搭載された面発光レーザー43から出射されたレーザー光44の光路を傾斜端面27により変換し、光ファイバに結合して伝搬光45bとする光送信モジュールや、逆に、図17に示すように、実装基板46上に搭載されることにより、光ファイバ中に導波する光48の光路を傾斜端面27により光路変換して下方に出射し、実装基板46上に搭載されたフォトダイオード49に結合させる光受信モジュール等を構成する部品として用いることができる。

【0105】図7に示したような両刃のブレード40を用いる代わりに、図18に示すような片刃のブレード50を用いてマイクロミラーを形成することもできる。例

(15)

特開平10-300961

29

えば、頂角がおよそ44度の片刃のブレード50を用いて、図6の光導波路に切削加工によりマイクロミラーを形成すると、図9に示すような45度のマイクロミラー付き光導波路ができる。ただし、このタイプのミラーの場合、傾斜端面9において全反射条件は満たされていないので、高い反射効率を得るためには、傾斜端面9に金、銀、アルミニウム等の高反射率の金属をコーティングしておく必要がある。このコーティング作業は、傾斜端面9を表現している変形V溝12bが開口側に拡大した形状であるので、大変行いやすい。これはV溝が対称的な形状の図7のような対称V溝12aの場合にも同様であり、この対称V溝12aではさらに作業空間が広いので、より作業しやすい。

【0106】図9のタイプのマイクロミラー9と図7のタイプのマイクロミラー6の機能上の大きな相違点は、光路を変換する方向が逆である点である。図9のマイクロミラーは、光導波路を伝搬してきた光10を、上方、つまり基板1とは逆方向に光路変換する機能を有している。無論、逆に、基板1の上方から伝搬してきた光11を光路変換して光導波路に結合する機能をも有している。従って、図19に示すように、光導波路表面に、あるいはV溝12b内に発光素子43を設置することにより、光送信器を構成したり、図20に示すように、受光素子49を光導波路表面に、あるいはV溝12b内に設置することにより、光受信器を構成したり、あるいは、図8のようなマイクロミラー付き光導波路をさらに表面に重ねることにより、図21のような2つの導波層51a、51bを持つ積層型光導波路を作ることが出来る。

【0107】ただし、このタイプのミラーには、切削により形成された変形V溝12bを構成する垂直端面9aで生じるフレネル反射のため、入射側へ逆戻りする光を生じやすいという問題がある。すなわち、素子としての反射減衰率が悪いという問題がある。例えば、コアの屈折率を1.490とすると、垂直端面9aで約3.9%のフレネル反射が生じるから、光導波路の伝搬損失を無視すると、入射端で検出される反射減衰率は約-14dBとなる。

【0108】この問題を解決するためには、以下に示す2つの方法がある。

【0109】第1の方法は、導波路端面9aを、図22に示すように、垂直面に対して僅かな角度 $\theta$ だけ傾斜させた端面52にすることである。角度 $\theta$ の傾斜を付けることにより、反射光の光路53は傾斜を付けない場合の光路54に比べ、角度 $2\theta$ の偏向を受ける。これを利用すれば、 $\theta$ を適当に選ぶことにより、反射光を導波路の外へ放射させ、結果的に反射減衰率を改善することができる。

【0110】導波路内を伝搬し得る導波光が導波路光軸となす角は、コア、クラッドの屈折率をそれぞれ  $n_{core}$ 、 $n_{clad}$  とすると、コア/クラッド界面での全反

30

射条件から、最大で  $\cos^{-1}(n_{clad}/n_{core})$  である。したがって、 $\theta$  を  $\cos^{-1}(n_{clad}/n_{core})$  より大きく設定すれば、全ての反射光を導波路の外へ放射させることができる。この値は、開口数 (NA) が約0.1のシングルモード導波路の場合、およそ5°から6°、開口数 (NA) が約0.2のマルチモード導波路の場合、およそ8°~9°であるから、シングルモード導波路の場合、6°以上、マルチモード導波路の場合、9°以上の傾斜を付けると、反射減衰率を激減させることができる。

【0111】ただし、 $\theta$  は前記の角度より小さな角度であっても、反射光の残りは放射されるので、要求条件によっては十分な効果を発揮する。また、あまり大きいと、この面を透過する光量が減少するので、光路変換素子としての損失が増大する要因となる。図23に、透過率ならびに反射減衰率の $\theta$ 依存性を示す。 $\theta$  は1°以上なら、反射減衰率が-20dB以下となる。また、30°を越えと、急激に透過率が減少する。実用的な光素子を作製するためには、-20dB以下の反射減衰率、90%以上の透過率が求められるので、 $\theta$  は1°以上30°以下の範囲で設定するのが有効である。このような変形V溝を形成するためには、片刃ブレードの垂直側面を1°~30°の範囲内で傾斜させる必要があり、そのような形状の片刃ブレードも本発明のブレードの一変形例である。

【0112】前述のように、図9のタイプのマイクロミラーはその垂直端面に僅かな傾斜を与えることにより、素子としての反射減衰率を改善することができるが、ここで注意すべきことは、端面52が傾斜を有することにより、この界面で屈折が生じるため、ミラーによる光路の偏向角が変わってしまうことである。

【0113】図24は、端面52の傾斜による光路の偏向角の変化を説明する図である。端面が導波路光軸に対して垂直である場合、すなわち、 $\theta = 0^\circ$  である場合、導波路光軸に沿って伝搬してきた光線10は、波線60→61で示すような経路を伝搬する。ここで、光路の偏向角は、傾斜端面9と導波路光軸のなす角を $\phi$ とすると、 $2\phi$ である。すなわち、 $\phi$ の光路変換を行いたいならば、 $\phi = \phi/2$ とすればよい。一方、端面52が垂直軸に対して $\theta$ の傾斜を有している場合、コアの屈折率を  $n_{core}$  とすると、光線10は屈折により  $\sin^{-1}(n_{core} \sin \theta)$  -  $\theta$  だけ屈折により偏向され、62→63に示す経路を伝搬する。そのため、入射光10と出射光63の偏向角は、 $2\phi + \{\sin^{-1}(n_{core} \sin \theta) - \theta\} / 2$  とする必要がある。すなわち、傾斜端面52の傾斜角 $\phi$ は、 $\theta = 0^\circ$  である場合と比べ、 $\{\sin^{-1}(n_{core} \sin \theta) - \theta\} / 2$  だけ補正する必要がある。

【0114】第2の方法は、図25に示すように、傾斜端面9に金などの高反射膜をコーティングした後に、導

(17)

特開平10-300961

31

波路端面52と傾斜端面9との間隙を、ほぼ屈折率の等しい樹脂70などで埋める方法である。V溝12b中の樹脂が、空気から樹脂70に置き換えられることにより、導波路端面52で生じるフレネル反射を激減させることができる。例えば、コア、樹脂70の屈折率がそれぞれ1.49、1.485とすると、 $\theta=0^\circ$ 。すなわち、端面52が傾斜を有していない場合でも、この面から生じるフレネル反射は、3.7%から0.00028%と激減するため、反射減衰率は-14dBから-55dBと激減させることができる。もちろん、前述の導波路端面52を傾斜させることを要すれば、なお効果的であることは言うまでもない。また、前述の屈折による光路の偏向角の変化を小さくすることができる。樹脂70の屈折率を $n_{resin}$ とすると、光路の偏向角の変化は $\sin^{-1}\{(n_{core}/n_{resin})\sin\theta\}-\theta$ となる。また、この樹脂70には、ミラー面9を保護する効果もある。

【0115】以上説明した平面型光導波路からなる本発明の光路変換素子の作製方法によれば、素子全体を横断するように切りきってしまうような加工のみならず、光導波路の任意の位置に部分的にマイクロミラーを作製することが出来る。例えば、図26に示すように、Y分岐光導波路の72、73、74の位置にマイクロミラーを形成する必要がある場合、ミクロトーム等、通常の切断加工法では、73の位置を加工する際、CC'に沿って切断するため、もう一方の導波路まで切断せざるを得ないが、切削加工の場合、数mm程度離れている箇所であれば、他の導波路を傷つけることなく、部分的なミラー加工することが可能である。

【0116】以上説明した光導波路に形成するV溝と、このV溝を形成するブレードとの関係、そして、ブレードの材質特性、形状特性、さらには傾斜端面を有する光導波路の作用、V溝を樹脂にて充填して屈折偏向角を調整すること等については、光ファイバ型の光路変換素子の場合でも同様であり、光ファイバでの説明は、省略する。

【0117】以上説明したように、本発明による光路変換素子の作製法を用いると、高性能な反射型光路変換素子を高精度かつ容易に作製することが出来る。

【0118】

【実施例】以下、実施例により本発明をさらに詳細に説明するが、本発明はこれら実施例に限定されるものではない。

【0119】（実施例1）ポリメチルメタクリレートをコア、エポキシ樹脂をクラッドとする埋込型光導波路をシリコン基板上に作製した。コア、クラッドの屈折率はそれぞれ1.490、1.475で、コアの断面形状は幅40μm、高さ40μmの矩形である。刃先の断面形状が図27に示すような頂角88度のV字形に加工されたブレード82を用い、前記光導波路の片端を基板表面

32

ぎりぎりまで切削加工することにより傾斜端面を形成し、しかる後、長さ5cm、幅1cmの大きさに切り出し、その後、基板から剥離することにより、図28に示すようなフィルム導波路型光路変換素子を作製した。

【0120】作製したフィルム導波路型光路変換素子の垂直な端面75から波長0.85μmのレーザー光76を入射し、傾斜端面77で反射した反射光78の遠視野における強度分布を測定することにより、光路の変換角度を測定したところ、変換角は90度であった。また、その反射光の全光強度を光検出器で測定することによりミラーの反射効率を測定したところ、83%であった。

【0121】（実施例2）実施例1と同様の方法で作製したフィルム導波路型光路変換素子の傾斜端面77に温度180度に熱したこてをあて平坦化処置をした後、傾斜端面ミラーによる光路変換角、ならびに反射効率を測定したところ、それぞれ90度、85%であった。

【0122】（実施例3）実施例1と同様の方法で作製したフィルム導波路型光路変換素子の傾斜端面77をメチルイソブチルケトンに浸漬して平坦化処置をした後、傾斜端面ミラーによる光路変換角、ならびに反射効率を測定したところ、それぞれ90度、85%であった。

【0123】（実施例4）実施例1と同様の方法で作製したフィルム導波路型光路変換素子の傾斜端面77をクロロベンゼンに浸漬して平坦化処置をした後、傾斜端面ミラーによる光路変換角、ならびに反射効率を測定したところ、それぞれ90度、85%であった。

【0124】（実施例5）実施例1と同様の方法で作製したフィルム導波路型光路変換素子の傾斜端面77に金を蒸着した。しかる後、傾斜端面ミラーによる光路変換角、ならびに反射効率を測定したところ、それぞれ90度、97%であった。

【0125】（実施例6）実施例1と同様の方法で作製したフィルム導波路型光路変換素子の傾斜端面77に銀を蒸着した。しかる後、傾斜端面ミラーによる光路変換角、ならびに反射効率を測定したところ、それぞれ90度、96%であった。

【0126】（実施例7）実施例1と同様の方法で作製したフィルム導波路型光路変換素子の傾斜端面77にアルミニウムを蒸着した。しかる後、傾斜端面ミラーによる光路変換角、ならびに反射効率を測定したところ、それぞれ90度、90%であった。

【0127】（実施例8）ポリメチルメタクリレートをコア、エポキシ樹脂をクラッドとする埋込型光導波路をシリコン基板上に作製した。コア、クラッドの屈折率は、それぞれ1.490、1.475で、コアの断面形状は幅40μm、高さ40μmの矩形である。刃先の断面形状が、図29に示すような、頂角93度のV字形に加工されたブレード83を用い、前記光導波路の片端を基板表面ぎりぎりまで切削加工することにより傾斜端面を形成し、しかる後、長さ5cm、幅1cmの大きさに



(18)

特開平10-300961

33

切り出し、その後、基板から剥離することによりフィルム導波路型光路変換素子を作製した。

【0128】作製したフィルム導波路型光路変換素子の垂直な端面から波長0.85  $\mu\text{m}$ のレーザー光を入射し、傾斜端面で反射した反射光の遠視野における強度分布を測定することにより、光路の変換角度を測定したところ、変換角は85度であった。また、その反射光の全光強度を光検出器で測定することによりミラーの反射効率を測定したところ、95%であった。

【0129】(実施例9)実施例8と同様の方法で作製したフィルム導波路型光路変換素子の傾斜端面に温度180度に熱したことをあてて平坦化処理をした後、傾斜端面ミラーによる光路変換角、ならびに反射効率を測定したところ、それぞれ85度、97%であった。

【0130】(実施例10)実施例8と同様の方法で作製したフィルム導波路型光路変換素子の傾斜端面をメチルイソブチルケトンに浸漬して平坦化処理をした後、傾斜端面ミラーによる光路変換角、ならびに反射効率を測定したところ、それぞれ85度、97%であった。

【0131】(実施例11)実施例8と同様の方法で作製したフィルム導波路型光路変換素子の傾斜端面をクロロベンゼンに浸漬して平坦化処理した後、傾斜端面ミラーによる光路変換角、ならびに反射効率を測定したところ、それぞれ85度、97%であった。

【0132】(実施例12)ポリメチルメタクリレートのコア、エポキシ樹脂をクラッドとする埋込型光導波路をシリコン基板上に作製した。コア、クラッドの屈折率は、それぞれ1.490、1.475で、コアの断面形状は幅40  $\mu\text{m}$ 、高さ40  $\mu\text{m}$ の矩形であった。刃先の断面形状が、図30に示すような、頂角44度の楔形に加工されたブレード84を用い、前記基板光導波路の片端を基板表面ぎりぎりまで切削加工することにより、図31に示すように、傾斜端面99を形成し、しかる後、傾斜端面99に金103を蒸着した。その後、長さ5cm、幅2cmの大きさに切り出し、導波路型光路変換素子とした。

【0133】作製した導波路型光路変換素子の垂直な端面100から波長0.85  $\mu\text{m}$ のレーザー光101を入射して傾斜端面99で反射した反射光102の遠視野における強度分布を測定することにより、光路の変換角度を測定したところ、変換角は90度であった。また、その反射光の全光強度を光検出器で測定することによりミラーの反射効率を測定したところ、96%であった。また、導波路入射端面に戻ってくる光の強度を測定することにより、反射減衰率を測定したところ-15dBであった。

【0134】(実施例13)傾斜端面に蒸着する金属を銀とすること以外は、実施例12と同様の方法で導波路型光路変換素子を作製した。

【0135】作製した導波路型光路変換素子の垂直な端

34

面から波長0.85  $\mu\text{m}$ のレーザー光101を入射して傾斜端面で反射した反射光の遠視野における強度分布を測定することにより光路の変換角度を測定したところ、変換角は90度であった。また、その反射光の全光強度を光検出器で測定することによりミラーの反射効率を測定したところ、95%であった。

【0136】(実施例14)傾斜端面に蒸着する金属をアルミニウムとすること以外は、実施例12と同様の方法で導波路型光路変換素子を作製した。

【0137】作製した導波路型光路変換素子の垂直な端面から波長0.85  $\mu\text{m}$ のレーザー光を入射して傾斜端面で反射した反射光の遠視野における強度分布を測定することにより光路の変換角度を測定したところ、変換角は90度であった。また、その反射光の全光強度を光検出器で測定することによりミラーの反射効率を測定したところ、89%であった。

【0138】(実施例15)図26に示すような1×2 Y分岐埋込型光導波路を、コアにポリメチルメタクリレート、クラッドにエポキシ樹脂を用いてシリコン基板上に作製した。導波路の全長は5cmで、分岐後の2本のコアの中心間隔は2.5mmである。コア、クラッドの屈折率は、それぞれ1.490、1.475で、コアの断面形状は幅40  $\mu\text{m}$ 、高さ40  $\mu\text{m}$ の矩形で、下層クラッド層の厚さは20  $\mu\text{m}$ 、上層クラッドの厚さは60  $\mu\text{m}$ (コアの上面から20  $\mu\text{m}$ )である。図26中の72、73、74に示す位置に、刃先の断面形状が、図30に示すような、頂角44度の楔形に加工されたブレード84を用い、基板表面ぎりぎりまで切削加工することにより、傾斜端面を形成し、しかる後、傾斜端面に金を蒸着した。その後、72の位置に作製したミラー上に共振波長0.85  $\mu\text{m}$ の表面発光レーザーを発光面がミラー側に向くように搭載し、73、74の位置に作製したミラー上にはフォトダイオードを受光面がミラー側に向くよう搭載した。

【0139】該表面発光レーザーに電流を注入して発光させ(0.80mW)、マイクロミラーを介して導波路を伝搬し、マイクロミラーを介して該フォトダイオードで受光されたレーザー光のパワーを測定したところ、受光された光強度は、73、74の側でそれぞれ、0.32mW、0.31mWであった。

【0140】(実施例16)重合比の異なる2種類の重水素化・フッ素化ポリメタクリレート(以下、ポリマA、ポリマBと呼ぶ：「特開平2-282023号公報：プラスチック光導波路」参照)を合成した。ポリマA、ポリマBの屈折率は、それぞれ、1.490、1.483であった。ポリマAをコア、ポリマBをクラッドとする埋込型シングルモード光導波路をシリコン基板上に作製した。コアの断面形状は幅7  $\mu\text{m}$ 、高さ7  $\mu\text{m}$ の矩形で、下層クラッド層の厚さは20  $\mu\text{m}$ 、上層クラッドの厚さは27  $\mu\text{m}$ (コアの上面から20  $\mu\text{m}$ )であ

35

た。また、補強のため上層クラッドの上にエポキシ樹脂が50 $\mu$ m塗られた。刃先の断面形状が、図27に示すような頂角88度のV字形に加工されたブレード82を用い、前記光導波路の片端を基板表面ざりざりまで切削加工することにより傾斜端面を形成し、しかる後、長さ5cm、幅1cmの大きさに切り出し、その後、基板から剥離することにより、フィルム導波路型光路変換素子を作製した。

【0141】作製したフィルム導波路型光路変換素子の垂直な端面から波長1.3 $\mu$ mのレーザー光を入射して傾斜端面で反射した反射光の遠視野における強度分布を測定することにより光路の変換角度を測定したところ、変換角は90度であった。また、その反射光の全光強度を光検出器で測定することによりミラーの反射効率を測定したところ、78%であった。

【0142】(実施例17) 実施例16と同様の方法で作製したフィルム導波路型光路変換素子の傾斜端面に温度180度に熱したことを当てて平坦化処置をした後、傾斜端面ミラーによる光路変換角、ならびに反射効率を測定したところ、それぞれ90度、80%であった。

【0143】(実施例18) 実施例16と同様の方法で作製したフィルム導波路型光路変換素子の傾斜端面をメチルイソブチルケトンに浸漬して平坦化処置をした後、傾斜端面ミラーによる光路変換角、ならびに反射効率を測定したところ、それぞれ90度、80%であった。

【0144】(実施例19) 実施例16と同様の方法で作製したフィルム導波路型光路変換素子の傾斜端面をクロロベンゼンに浸漬して平坦化処置をした後、傾斜端面ミラーによる光路変換角、ならびに反射効率を測定したところ、それぞれ90度、80%であった。(実施例20) 実施例16と同様の方法で作製したフィルム導波路型光路変換素子の傾斜端面に金を蒸着した。しかる後、傾斜端面ミラーによる光路変換角、ならびに反射効率を測定したところ、それぞれ90度、94%であった。

【0145】(実施例21) 実施例16と同様の方法で作製したフィルム導波路型光路変換素子の傾斜端面に銀を蒸着した。しかる後、傾斜端面ミラーによる光路変換角、ならびに反射効率を測定したところ、それぞれ90度、92%であった。

【0146】(実施例22) 実施例16と同様の方法で作製したフィルム導波路型光路変換素子の傾斜端面にアルミニウムを蒸着した。しかる後、傾斜端面ミラーによる光路変換角、ならびに反射効率を測定したところ、それぞれ87度、89%であった。

【0147】(実施例23) 共重合比の異なる2種類の、含水素化ポリシロキサン(以下、ポリマC、ポリマDと呼ぶ:「特開平2-282023号公報:プラスチック光導波路」参照)を合成した。ポリマC、ポリマDの屈折率は、それぞれ、1.545、1.537である。ポリマAをコア、ポリマBをクラッドとする埋込型シング

(19)

特開平10-300961

36

ルモード光導波路をシリコン基板上に作製した。コアの断面形状は幅7 $\mu$ m、高さ7 $\mu$ mの矩形で、下層クラッド層の厚さは20 $\mu$ m、上層クラッドの厚さは27 $\mu$ m(コアの上面から20 $\mu$ m)である。また、補強のため上層クラッドの上にエポキシ樹脂を50 $\mu$ m塗られている。刃先の断面形状が、図27に示すような頂角88度のV字形に加工されたブレード82を用い、前記光導波路の片端を基板表面ざりざりまで切削加工することにより傾斜端面を形成し、しかる後、長さ5cm、幅1cmの大きさに切り出し、その後、基板から剥離することにより、フィルム導波路型光路変換素子を作製した。

【0148】作製したフィルム導波路型光路変換素子の垂直な端面から波長1.55 $\mu$ mのレーザー光を入射して傾斜端面で反射した反射光の遠視野における強度分布を測定することにより光路の変換角度を測定したところ、変換角は90度であった。また、その反射光の全光強度を光検出器で測定することによりミラーの反射効率を測定したところ、80%であった。

【0149】(実施例24) 実施例23と同様の方法で作製したフィルム導波路型光路変換素子の傾斜端面に温度400度に熱したことを当てて平坦化処置をした後、傾斜端面ミラーによる光路変換角、ならびに反射効率を測定したところ、それぞれ90度、83%であった。

【0150】(実施例25) 実施例23と同様の方法で作製したフィルム導波路型光路変換素子の傾斜端面にアニソールに浸漬して平坦化処置をした後、傾斜端面ミラーによる光路変換角、ならびに反射効率を測定したところ、それぞれ90度、83%であった。

【0151】(実施例26) 実施例23と同様の方法で作製したフィルム導波路型光路変換素子の傾斜端面をクロロベンゼンに浸漬して平坦化処置をした後、傾斜端面ミラーによる光路変換角、ならびに反射効率を測定したところ、それぞれ90度、83%であった。

【0152】(実施例27) 実施例23と同様の方法で作製したフィルム導波路型光路変換素子の傾斜端面に金を蒸着した。しかる後、傾斜端面ミラーによる光路変換角、ならびに反射効率を測定したところ、それぞれ90度、93%であった。

【0153】(実施例28) 実施例23と同様の方法で作製したフィルム導波路型光路変換素子の傾斜端面に銀を蒸着した。しかる後、傾斜端面ミラーによる光路変換角、ならびに反射効率を測定したところ、それぞれ90度、92%であった。

【0154】(実施例29) 実施例23と同様の方法で作製したフィルム導波路型光路変換素子の傾斜端面にアルミニウムを蒸着した。しかる後、傾斜端面ミラーによる光路変換角、ならびに反射効率を測定したところ、それぞれ90度、87%であった。

【0155】(実施例30) 石英基板上に石英系ガラス光導波路を作製した。コア、クラッドの屈折率は、それ

50



(20)

特開平10-300961

37

それ、1.473、1.459で、コアの断面形状は幅40 $\mu\text{m}$ 、高さ40 $\mu\text{m}$ の矩形であった。下層クラッド層の厚さは20 $\mu\text{m}$ 、上層クラッドの厚さは40 $\mu\text{m}$ （コアの上面から20 $\mu\text{m}$ ）であった。刃先の断面形状が、図27に示すような頂角88度のV字形に加工されたブレード82を用い、前記光導波路の片端を基板表面ぎりぎりまで切削加工することにより傾斜端面を形成し、しかる後、長さ5cm、幅1cmの大きさに切り出し、導波路型光路変換素子を作製した。

【0156】作製したフィルム導波路型光路変換素子の10 垂直な端面から波長0.85 $\mu\text{m}$ のレーザー光を入射して傾斜端面で反射した反射光の遠視野における強度分布を測定することにより光路の変換角度を測定したところ、変換角は90度であった。また、その反射光の全光強度を光検出器で測定することによりミラーの反射効率を測定したところ、78%であった。

【0157】（実施例31）実施例30と同様の方法で作製した導波路型光路変換素子の傾斜端面をフッ酸緩衝液に浸漬して平坦化処理をした後、傾斜端面ミラーによる光路変換角、ならびに反射効率を測定したところ、それぞれ90度、80%であった。20

【0158】（実施例32）実施例30と同様の方法で作製した導波路型光路変換素子の傾斜端面に金を蒸着した、しかる後、傾斜端面ミラーによる光路変換角、ならびに反射効率を測定したところ、それぞれ90度、93%であった。

【0159】（実施例33）実施例30と同様の方法で作製した導波路型光路変換素子の傾斜端面に銀を蒸着した、しかる後、傾斜端面ミラーによる光路変換角、ならびに反射効率を測定したところ、それぞれ90度、92 30 %であった。

【0160】（実施例34）実施例30と同様の方法で作製した導波路型光路変換素子の傾斜端面にアルミニウムを蒸着した、しかる後、傾斜端面ミラーによる光路変換角、ならびに反射効率を測定したところ、それぞれ88度、88%であった。

【0161】（実施例35）シリコン基板上に石英系ガラスシングルモード光導波路を作製した。コア、クラッドの屈折率はそれぞれ1.455、1.444で、コアの断面形状は幅7 $\mu\text{m}$ 、高さ7 $\mu\text{m}$ の矩形である。刃先の断面形状が、図30に示すような頂角44度の楔形に加工されたブレード84を用い、前記光導波路の片端を基板表面ぎりぎりまで切削加工することにより傾斜端面を形成し、しかる後、傾斜端面に金を蒸着した、その後、長さ5cm、幅2cmの大きさに切り出し、導波路型光路変換素子を作製した。

【0162】作製した導波路型光路変換素子の垂直な端面から波長1.55 $\mu\text{m}$ のレーザー光を入射して傾斜端面で反射した反射光の遠視野における強度分布を測定することにより光路の変換角度を測定したところ、変換角 50

38

は90度であった。また、その反射光の全光強度を光検出器で測定することによりミラーの反射効率を測定したところ、94%であった。

【0163】（実施例36）実施例12で作製した光路変換素子中の楔形の溝に、屈折率1.485の紫外線硬化型樹脂を流し込み、紫外線を照射して硬化させ、しかる後、長さ5cm、幅2cmの大きさに切り出し、導波路型光路変換素子を作製した。

【0164】作製した導波路型光路変換素子に波長0.85 $\mu\text{m}$ のレーザー光を入射し、傾斜端面で反射した反射光の遠視野における強度分布を測定することにより光路の変換角度を測定したところ、変換角は90度であった。また、その反射光の全光強度を光検出器で測定することによりミラーの反射効率を測定したところ、97%であった。また、導波路入射端面に戻ってくる光の強度を測定することにより、反射減衰率を測定したところ、-55dB以下であった。

【0165】（実施例37）コアをポリメチルメタクリレートから、クラッドをエポキシ樹脂から構成した埋込型光導波路をシリコン基板上に作製した。コア、クラッドの屈折率は、それぞれ1.490、1.475であり、コアの断面形状は、幅40 $\mu\text{m}$ 、高さ40 $\mu\text{m}$ の矩形である。刃先の断面形状が図32に示すような頂角55.5度の楔形に加工されたブレード85を用い、前記光導波路の片端を基板表面ぎりぎりまで切削加工することにより図24のようなV溝を形成した。端面52が垂直平面となす角 $\theta$ 、ならびに傾斜端面9が導波路光軸となす角 $\phi$ は、それぞれ10°、42.5°であった。しかる後、傾斜端面9に金を蒸着した、その後、長さ5cm、幅2cmの大きさに切り出し、導波路型光路変換素子を作製した。

【0166】作製した導波路型光路変換素子に波長0.85 $\mu\text{m}$ のレーザー光を入射し、傾斜端面9で反射した反射光63の遠視野における強度分布を測定することにより光路の変換角度を測定したところ、変換角は90度であった。また、その反射光の全光強度を光検出器で測定することによりミラーの反射効率を測定したところ、95%であった。また、導波路入射端面に戻ってくる光の強度を測定することにより、反射減衰率を特定したところ、-50dB以下であった。

【0167】（実施例38）コアをポリメチルメタクリレートから、クラッドをエポキシ樹脂から構成した埋込型光導波路をシリコン基板上に作製した。コア、クラッドの屈折率は、それぞれ1.490、1.475であり、コアの断面形状は、幅40 $\mu\text{m}$ 、高さ40 $\mu\text{m}$ の矩形である。刃先の断面形状が図33に示すような頂角53度の楔形に加工されたブレード86を用い、前記光導波路の片端を基板表面ぎりぎりまで切削加工することにより、図24のようなV溝を形成した。端面52が垂直平面となす角 $\theta$ 、ならびに傾斜端面9が導波路光軸とな

(21)

特開平10-300961

39

ず角は、それぞれ $10^\circ$ 、 $45^\circ$ であった。しかる後、傾斜端面9に金を蒸着した。その後、このV溝に屈折率1.485の紫外硬化型樹脂70を流し込み(図25)、紫外線を照射して硬化させ、しかる後、長さ5cm、幅2cmの大きさに切り出し、導波路型光路変換素子を作製した。

【0168】作製した平面導波路型光路変換素子に波長 $0.85\mu\text{m}$ のレーザー光を入射し、傾斜端面9で反射した反射光63の遠視野における強度分布を測定することにより光路の変換角度を測定したところ、変換角は $90^\circ$ であった。また、その反射光の全光強度を光検出器で測定することによりミラーの反射効率を測定したところ、96%であった。また、導波路入射端面に戻ってくる光の強度を測定することにより、反射減衰率を特定したところ、 $-7.0\text{dB}$ 以下であった。

【0169】以上の実施例1〜38は、平面導波路型の光路変換素子についてであった。以下、光ファイバ型の光路変換素子について実施例を説明する。

【0170】(実施例39)図10および図11を参照して本発明の第39の実施例を説明する。図において、21はシリコン基板、22は光ファイバ、23は光ファイバの先端部、24は接着フィルム、25は光ファイバのコア、26は光ファイバのクラッド、27は傾斜端面、28は光ファイバを伝搬する光、29は傾斜端面ミラーにより光路変換され光ファイバ外下方へ伝搬する光、または、光ファイバ外下方から傾斜端面ミラーを介して導波路へ入射する光、30は傾斜端面、31は光ファイバを伝搬する光、32は傾斜端面ミラーにより光路変換され光ファイバ外上方へ伝搬する光、または、光ファイバ外上方から傾斜端面ミラーを介して光ファイバへ入射する光である。

【0171】シリコン基板21上にコア径 $50\mu\text{m}$ のグレーディッド・インデックス型マルチモード光ファイバ22の一方の先端部23を露出して置き、紫外線分解型の接着フィルム24を用いて図10に示すように、先端部全体と非露出部の一部とが接着フィルム24に覆われるように固定した。しかる後、刃先の断面形状が図27に示すような頂角 $88^\circ$ のV字形に加工されたダイヤモンドブレード82を用い、前記光ファイバ22を基板表面ぎりぎりまで切削加工することにより傾斜端面27を形成し、しかる後、紫外線を照射し接着フィルム4を剥離して、光ファイバ22をシリコン基板21から分離することにより、図11(B)に示すような傾斜端面ミラー付きの光ファイバを作製した。

【0172】作製した傾斜端面ミラー付き光ファイバの他端から波長 $0.85\mu\text{m}$ のレーザー光を入射し傾斜端面27で反射した反射光の遠視野における強度分布を測定することにより光路の変換角度を測定したところ、変換角は $90^\circ$ であった。また、その反射光の全光強度を光検出器で測定することにより傾斜端面ミラーの反射効

40

率を測定したところ78%であった。

【0173】(実施例40)実施例1と同様の方法で作製した傾斜端面ミラー付きの光ファイバの傾斜端面をフッ酸緩衝液に浸漬し平滑化処理をした後、傾斜端面ミラーによる光路変換角、ならびに反射効率を測定したところ、それぞれ $90^\circ$ 、80%であった。

【0174】(実施例41)実施例39と同様の方法で作製した傾斜端面ミラー付きの光ファイバの傾斜端面に金を蒸着した。しかる後、傾斜端面ミラーによる光路変換角、ならびに反射効率を測定したところ、それぞれ $90^\circ$ 、93%であった。

【0175】(実施例42)実施例39と同様の方法で作製した傾斜端面ミラー付きの光ファイバの傾斜端面に銀を蒸着した。しかる後、傾斜端面ミラーによる光路変換角、ならびに反射効率を測定したところ、それぞれ $90^\circ$ 、92%であった。

【0176】(実施例43)実施例39と同様の方法で作製した傾斜端面ミラー付きの光ファイバの傾斜端面にアルミニウムを蒸着した。しかる後、傾斜端面ミラーによる光路変換角、ならびに反射効率を測定したところ、それぞれ $88^\circ$ 、88%であった。

【0177】(実施例44)頂角が $108^\circ$ のV字形ブレードを用いたこと以外は実施例39と同様の方法で傾斜端面ミラー付きの光ファイバを作製した。

【0178】作製した傾斜端面ミラー付きの光ファイバの他端から波長 $0.85\mu\text{m}$ のレーザー光を入射し傾斜端面反射した反射光の遠視野における強度分布を測定することにより光路の変換角度を測定したところ、変換角は $70^\circ$ であった。また、その反射光の全光強度を光検出器で測定することにより傾斜端面ミラーの反射効率を測定したところ93%であった。

【0179】(実施例45)コア径 $50\mu\text{m}$ のグレーディッド・インデックス型マルチモード光ファイバ2の一端をシリコン基板1上に置き、接着力の強い接着フィルム24を用いて図10に示すように固定した。しかる後、刃先の断面形状が図30に示すような頂角 $44^\circ$ の片刃状に加工されたダイヤモンドブレード84を用い、前記光ファイバを基板表面ぎりぎりまで切削加工することにより傾斜端面を形成し、しかる後、斜め蒸着により傾斜端面に金を蒸着し、図11(C)に示すような傾斜端面ミラー付きの光ファイバを作製した。

【0180】作製した傾斜端面ミラー付きの光ファイバの他端から波長 $0.85\mu\text{m}$ のレーザー光を入射し傾斜端面で反射した反射光30の遠視野における強度分布を測定することにより光路の変換角度を測定したところ、変換角は $90^\circ$ であった。また、その反射光の全光強度を光検出器で測定することにより傾斜端面ミラーの反射効率を測定したところ94%であった。

【0181】(実施例46)コア径 $10\mu\text{m}$ のステップ・インデックス型シングルモード光ファイバを実施例1

(22)

特開平10-300961

41

と同様の方法で加工し、傾斜端面ミラー付きの光ファイバ110を作製した傾斜端面ミラー付きの光ファイバの他端から波長1.55μmのレーザー光を入射し傾斜端面反射した反射光の遠視野における強度分布を測定することにより光路の変換角度を測定したところ、変換角は90度であった。また、その反射光の全光強度を光検出器で測定することにより傾斜端面ミラーの反射効率を測定したところ92%であった。

【0182】(実施例47)実施例46と同様の方法で作製した傾斜端面ミラー付きの光ファイバの傾斜端面をフッ酸緩衝液に浸漬し平滑化処置をした後、傾斜端面ミラーによる光路変換角、ならびに反射効率を測定したところ、それぞれ90度、94%であった。

【0183】(実施例48)コア径10μmのステップ・インデックス型シングルモード光ファイバを実施例45と同様の方法で加工し、傾斜端面ミラー付きの光ファイバを作製した。

【0184】作製した傾斜端面ミラー付きの光ファイバの垂直な端面から波長1.55μmのレーザー光を入射し傾斜端面反射した反射光の遠視野における強度分布を測定することにより光路の変換角度を測定したところ、変換角は90度であった。また、その反射光の全光強度を光検出器で測定することにより傾斜端面ミラーの反射効率を測定したところ93%であった。

【0185】(実施例49)図34および図35を参照して本発明の第49の実施例を説明する。

【0186】コア径50μmのグレーディッド・インデックス型マルチモード光ファイバ110を被覆材109で被覆してなる4心の光ファイバ110の一端を、被覆付きのままシリコン基板106上に置き、紫外線分解型の接着フィルム108を用いて、図34

(A)、(B)に示すように、固定した。光ファイバ110はそれぞれコア111とこれを包囲するクラッド112とからなる。しかる後、刃先の断面形状が図27に示すような頂角88度のV字形に加工されたダイヤモンドブレード82を用い、前記光ファイバ110をシリコン基板106の表面ぎりぎりまで切削加工することにより、傾斜端面113を形成し(図35(A))。しかる後、紫外線を照射してフィルム108を剥離し、光ファイバ110をシリコン基板106から分離した後、先端部の被覆材109を剥離し、図35(B)に示すような傾斜端面ミラー付きの光ファイバ110を作製した。

【0187】作製した傾斜端面ミラー付きの4心の光ファイバのそれぞれについて傾斜端面ミラーの形成されていない他方の端面から波長0.85μmのレーザー光線を入射し、傾斜端面113で反射した反射光の遠視野における強度分布を測定することにより、光路の変換角度をそれぞれ測定したところ、変換角は平均90度で、ばらつきは1度以内であった。

42

【0188】また、反射光の全光強度を光検出器で測定することによりミラーの反射効率を測定したところ、平均78%で、ばらつきは2%以内であった。

【0189】(実施例50)実施例49と同様の方法で作製した傾斜端面ミラー付きの光ファイバ110の傾斜端面をフッ酸緩衝液に浸漬して平滑化処置をした後、傾斜端面ミラーによる光路変換角および反射効率を測定したところ、それぞれ平均90度(ばらつき1度以内)および80%(ばらつき2%以内)であった。

【0190】(実施例51)実施例49と同様の方法で作製した傾斜端面ミラー付きの光ファイバ110の傾斜端面に金を蒸着した。しかる後、傾斜端面ミラーによる光路変換角、ならびに反射効率を測定したところ、それぞれ平均90度(ばらつき1度以内)、94%(ばらつき2%以内)であった。

【0191】(実施例52)図36および図37を参照して本発明の第52の実施例を説明する。

【0192】コア径50μmのグレーディッド・インデックス型マルチモード光ファイバ118(コア121およびクラッド122)からなる4心の光ファイバ117の一端の先端部の被覆を剥離し、V状の固定用の溝120が形成されたガラス基板116上にそれぞれの光ファイバ118が固定溝120に沿うように配置し、紫外線硬化型樹脂119を用いて、図36(A)ないし(B)に示すように、固定した。しかる後、刃先の断面形状が図30に示すような頂角44度の片刃状に加工されたダイヤモンドブレード84を用い、前記光ファイバ118を光ファイバの基板116側のクラッド層122まで切削加工することにより、図37に示すように、傾斜端面123を形成し、しかる後、斜め蒸着により傾斜端面123に金を蒸着し、傾斜端面ミラー付きの光ファイバ117を得た。

【0193】作製した傾斜端面ミラー付きの光ファイバの他端から波長0.85μmのレーザー光を入射し、傾斜端面123で反射した反射光の遠視野における強度分布を測定することにより、光路の変換角度をそれぞれ測定したところ、その平均は90度で、ばらつきは1度以内であった。また、その反射光の全光強度を光検出器で測定することにより傾斜端面ミラーの反射効率を測定したところ、平均94%で、ばらつきは2%以内であった。また、光ファイバ入射端面に戻ってくる光の強度を測定することにより、反射減衰率を測定したところ、平均で-15dBであった。

【0194】(実施例53)図38に示すような、12本のコア径50μmのグレーディッド・インデックス型マルチモード光ファイバ124が樹脂125中に埋め込まれている光ファイバシート127の図中の符号127に示す部分に、頂角44度の片刃状に加工されたダイヤモンドブレードを用いて切削加工を部分的に行って傾斜端面を形成し、しかる後、斜め蒸着により傾斜端面に金を蒸着

(23)

特開平10-300961

43

44

し、光路変換（傾斜端面）ミラーを作製した。

【0195】コネクタ126側のファイバ端面から波長0.85μmのレーザー光を入射し、傾斜端面ミラーを形成する部分127で反射した反射光の遠視野における強度分布を測定することにより、傾斜端面ミラーを形成した8本のファイバについて光路の変換角度をそれぞれ測定したところ、平均90度で、ばらつきは1度以内であった。また、その反射光の全光強度を光検出器で測定することにより傾斜端面ミラーの反射効率を測定したところ、平均94%で、ばらつきは2%以内であった。

【0196】（実施例54）コアがポリメタクリル酸メチルであるコア径1000μmのプラスチック光ファイバを用い、実施例39と同様の方法で切削加工を行い、傾斜端面ミラー付きのプラスチック光ファイバを作製した。

【0197】作製した傾斜端面ミラー付きのプラスチック光ファイバの他端から波長0.85μmのレーザー光を入射し、傾斜端面で反射した反射光の遠視野における強度分布を測定することにより、光路の変換角度を測定したところ、変換角は90度であった。また、その反射光の全光強度を光検出器で測定することにより、傾斜端面ミラーの反射効率を測定したところ、68%であった。

【0198】（実施例55）実施例54と同様の方法で作製した傾斜端面ミラー付きのプラスチック光ファイバの傾斜端面に温度180度に熱したことをあて平滑化処置をした後、傾斜端面ミラーによる光路変換角、ならびに反射効率を測定したところ、それぞれ90度、71%であった。

【0199】（実施例56）実施例55と同様の方法で作製した傾斜端面ミラー付きのプラスチック光ファイバの傾斜端面をメチルイソブチルケトンに浸漬して平滑化処置をした後、傾斜端面ミラーによる光路変換角および反射効率を測定したところ、それぞれ90度および70%であった。

【0200】（実施例57）実施例55と同様の方法で作製した傾斜端面ミラー付きのプラスチック光ファイバの傾斜端面をクロロベンゼンに浸漬し平滑化処置をした後、傾斜端面ミラーによる光路変換角、ならびに反射効率を測定したところ、それぞれ90度、71%であった。

【0201】（実施例58）実施例55と同様の方法で作製した傾斜端面ミラー付きのプラスチック光ファイバの傾斜端面に金を蒸着した。しかる後、傾斜端面ミラーによる光路変換角、ならびに反射効率を測定したところ、それぞれ90度、96%であった。

【0202】（実施例59）コアが石英系ガラス、クラッドが高分子であるコア径200μmのプラスチッククラッド光ファイバを用い、実施例39と同様の方法で切削加工を行い、傾斜端面ミラー付きのプラスチック光フ

ファイバを作製した。

【0203】作製した傾斜端面ミラー付きのプラスチック光ファイバの他端から波長0.85μmのレーザー光を入射し、傾斜端面で反射した反射光の遠視野における強度分布を測定することにより、光路の変換角度を測定したところ、変換角は90度であった。また、その反射光の全光強度を光検出器で測定することにより、傾斜端面ミラーの反射効率を測定したところ、69%であった。

【0204】（実施例60）実施例59と同様の方法で作製した傾斜端面ミラー付きのプラスチッククラッド光ファイバの傾斜端面をフッ酸緩液に浸漬して平滑化処置をした後、傾斜端面ミラーによる光路変換角ならびに反射効率を測定したところ、それぞれ90度、71%であった。

【0205】（実施例61）実施例59と同様の方法で作製した傾斜端面ミラー付きのプラスチッククラッド光ファイバの傾斜端面に金を蒸着した。しかる後、傾斜端面ミラーによる光路変換角、ならびに反射効率を測定したところ、それぞれ90度、95%であった。

【0206】（実施例62）図36に示すように、コア径50μmのグレーディッド・インデックス型マルチモード光ファイバ118（コア121およびクラッド122）からなる4心の光ファイバリボン117の一端の先端部の被覆を剥離し、V状の固定用の溝120が形成されたガラス基板116上にそれぞれの光ファイバ118が固定用溝120に沿うように配置し、紫外線硬化型樹脂119を用いて、図36（A）ないし（B）に示すように固定した。しかる後、刃先の断面形状が、図30に示すような頂角44度の片刃状に加工されたダイヤモンドブレード84を用い、前記光ファイバ118を光ファイバの基板116側のクラッド層122まで切削加工することにより傾斜端面123を形成し、しかる後、図37に示すように、斜め蒸着により傾斜端面に金を蒸着し、その後、このV溝に屈折率1.455の紫外線硬化型樹脂70を流し込み、紫外線を照射して硬化させて、傾斜端面ミラー付きの光ファイバリボン117を作製した。

【0207】作製した傾斜端面ミラー付きの光ファイバの他端から波長0.85μmのレーザー光を入射し傾斜端面で反射した反射光の遠視野における強度分布を測定することにより光路の変換角度をそれぞれ測定したところ、その平均は90度で、ばらつきは1度以内であった。また、その反射光の全光強度を光検出器で測定することにより傾斜端面ミラーの反射効率を測定したところ、平均95%であり、ばらつきは2%以内であった。また、光ファイバ入射端面に戻ってくる光の強度を測定することにより、反射減衰率を測定したところ、平均で-55dBであった。

【0208】（実施例63）図36に示すように、コア

(24)

特開平10-300961

45

径50 $\mu$ mのグレーディッド・インデックス型マルチモード光ファイバ118（コア121およびクラッド122）からなる4心の光ファイバリボン117の一端の先端部の被覆を剥離し、V状の固定用の溝120が形成されたガラス基板116上にそれぞれの光ファイバ118が固定用の溝120に沿うように配置し、紫外線硬化型樹脂119を用いて固定した。しかる後、刃先の断面形状が、図39に示すような頂角55.5度の片刃状に加工されたダイヤモンドブレード87を用い、前記光ファイバ118を光ファイバの基板116側のクラッド層122まで切削加工することにより、図40に示すようなV溝を形成した。端面132が光ファイバの光軸133と垂直な平面134となす角 $\theta$ ならびに傾斜端面123が光ファイバの光軸133となす角 $\phi$ は、それぞれ10°、42.5°であった。しかる後、斜め蒸着により傾斜端面123に金を蒸着し、図41に示すような傾斜端面ミラー付きの光ファイバリボン117を作製した。

【0209】作製した傾斜端面ミラー付きの光ファイバの他端から波長0.85 $\mu$ mのレーザー光を入射し、傾斜端面で反射した反射光の遠視野における強度分布を測定することにより、光路の変換角度をそれぞれ測定したところ、その平均は90度で、ばらつきは1度以内であった。また、その反射光の全光強度を光検出器で測定することにより、傾斜端面ミラーの反射効率を測定したところ、平均95%であり、ばらつきは2%以内であった。また、光ファイバ入射端面に戻ってくる光の強度を測定することにより、反射減衰率を測定したところ、平均で-55dBであった。

【0210】（実施例64）図36に示すように、コア径50 $\mu$ mのグレーディッド・インデックス型マルチモード光ファイバ118（コア121およびクラッド122）からなる4心の光ファイバリボン117の一端の先端部の被覆を剥離し、V状の固定用の溝120が形成されたガラス基板116上にそれぞれの光ファイバ118が固定用の溝に沿うように配置し、紫外線硬化型樹脂119を用いて固定した。しかる後、刃先の断面形状が、図42に示すような頂角53度の片刃状に加工されたダイヤモンドブレード88を用い、前記光ファイバ118を光ファイバの基板116側のクラッド層122まで切削加工することにより、図40に示すようなV溝を形成した。端面132が光ファイバの光軸133と垂直な平面134となす角 $\theta$ 、ならびに傾斜端面123が光ファイバの光軸133となす角 $\phi$ は、それぞれ10°、45°であった。しかる後、斜め蒸着により傾斜端面123に金を蒸着した。その後、図43に示すように、このV溝に屈折率1.455の紫外線硬化型樹脂70を流し込み、紫外線を照射して硬化させて、傾斜端面ミラー付きの光ファイバリボンを作製した。

【0211】作製した傾斜端面ミラー付きの光ファイバの他端から波長0.85 $\mu$ mのレーザー光を入射し、傾

46

斜端面で反射した反射光の遠視野における強度分布を測定することにより、光路の変換角度をそれぞれ測定したところ、その平均は90度で、ばらつきは1度以内であった。また、その反射光の全光強度を光検出器で測定することにより、傾斜端面ミラー123の反射効率を測定したところ、平均95%であり、ばらつきは2%以内であった。また、光ファイバ入射端面に戻ってくる光の強度を測定することにより、反射減衰率を測定したところ、平均で-70dBであった。

【0212】（実施例65）コア径9 $\mu$ mのステップ・インデックス型シングルモード光ファイバからなる4心の光ファイバリボン117を、V状の固定用の溝が形成されたガラス基板上にそれぞれの光ファイバがV溝に沿うように配置し、紫外線硬化型樹脂を用いて固定した。そして、前記実施例52と同様に、刃先の断面形状が、図30に示すような頂角44度の片刃状に加工されたダイヤモンドブレード84を用い、前記光ファイバを光ファイバの基板側のクラッド層まで切削加工することにより傾斜端面を形成し、しかる後、斜め蒸着により傾斜端面に金を蒸着することにより、傾斜端面ミラー付きの光ファイバリボンを作製した。

【0213】作製した傾斜端面ミラー付きの光ファイバの他端から波長1.31 $\mu$ mのレーザー光を入射し、傾斜端面で反射した反射光の遠視野における強度分布を測定することにより、光路の変換角度をそれぞれ測定したところ、その平均は90度で、ばらつきは1度以内であった。また、その反射光の全光強度を光検出器で測定することにより、傾斜端面ミラーの反射効率を測定したところ、平均94%であり、ばらつきは2%以内であった。また、光ファイバ入射端面に戻ってくる光の強度を測定することにより、反射減衰率を測定したところ、平均で-15dBであった。

【0214】（実施例66）コア径9 $\mu$ mのステップ・インデックス型シングルモード光ファイバからなる4心の光ファイバリボン117を、V状の固定用の溝が形成されたガラス基板上にそれぞれの光ファイバがV溝に沿うように配置し、紫外線硬化型樹脂を用いて固定した。そして、前記実施例52と同様に、刃先の断面形状が、図30に示すような頂角44度の片刃状に加工されたダイヤモンドブレード84を用い、前記光ファイバを光ファイバの基板側のクラッド層まで切削加工することにより、傾斜端面を形成した。しかる後、斜め蒸着により傾斜端面に金を蒸着し、その後、このV溝に屈折率1.455の紫外線硬化型樹脂を流し込み、紫外線を照射して硬化させることにより、傾斜端面ミラー付きの光ファイバリボンを作製した。

【0215】作製した傾斜端面ミラー付きの光ファイバの他端から波長1.31 $\mu$ mのレーザー光を入射し、傾斜端面で反射した反射光の遠視野における強度分布を測定することにより、光路の変換角度をそれぞれ測定した

(25)

特開平10-300961

47

ところ、その平均は90度で、ばらつきは1度以内であった。また、その反射光の全光強度を光検出器で測定することにより、傾斜端面ミラーの反射効率を測定したところ、平均95%であり、ばらつきは2%以内であった。また、光ファイバ入射端面に戻ってくる光の強度を測定することにより、反射減衰率を測定したところ、平均で-5.5 dBであった。

【0216】(実施例67) コア径9 μmのステップ・インデックス型シングルモード光ファイバからなる4心の光ファイバリボンを、V状の固定用の溝が形成されたガラス基板上にそれぞれの光ファイバがV溝に沿うように配置し、紫外線硬化型樹脂を用いて固定した。そして、実施例53と同様に、刃先の断面形状が、図39に示すような頂角55.5度の片刃状に加工されたダイヤモンドブレード87を用い、前記光ファイバを光ファイバの基板側のクラッド層まで切削加工することにより、図40に示すようなV溝を形成した。端面132が光ファイバの光軸133と垂直な平面134となす角θ、ならびに傾斜端面123が光ファイバの光軸133となす角φは、それぞれ10°、42.5°であった。しかる後、斜め蒸着により傾斜端面123に金を蒸着し、図41に示すような傾斜端面ミラー付きの光ファイバリボンを作製した。

【0217】作製した傾斜端面ミラー付きの光ファイバの他端から波長1.31 μmのレーザー光を入射し、傾斜端面で反射した反射光の遠視野における強度分布を測定することにより、光路の変換角度をそれぞれ測定したところ、その平均は90度で、ばらつきは1度以内であった。また、その反射光の全光強度を光検出器で測定することにより、傾斜端面ミラーの反射効率を測定したところ、平均95%であり、ばらつきは2%以内であった。また、光ファイバ入射端面に戻ってくる光の強度を測定することにより、反射減衰率を測定したところ、平均で-5.5 dBであった。

【0218】(実施例68) コア径9 μmのステップ・インデックス型シングルモード光ファイバからなる4心の光ファイバリボンを、V状の固定用の溝が形成されたガラス基板上にそれぞれの光ファイバが工程用の溝に沿うように配置し、紫外線硬化型樹脂を用いて固定した。そして、前記実施例54と同様に、刃先の断面形状が、図42に示すような頂角53度の片刃状に加工されたダイヤモンドブレード88を用い、前記光ファイバを光ファイバの基板側のクラッド層まで切削加工することによ

48

り、図40に示すようなV溝を形成した。端面132が光ファイバの光軸133と垂直な平面134となす角θ、ならびに傾斜端面123が光ファイバの光軸133となす角φは、それぞれ10°、45°であった。しかる後、斜め蒸着により傾斜端面123に金を蒸着した。その後、このV溝に屈折率1.455の紫外線硬化型樹脂70を流し込み、紫外線を照射して硬化させ、図43に示すような傾斜端面ミラー付きの光ファイバリボンを作製した。

【0219】作製した傾斜端面ミラー付きの光ファイバの他端から波長1.31 μmのレーザー光を入射し、傾斜端面で反射した反射光の遠視野における強度分布を測定することにより、光路の変換角度をそれぞれ測定したところ、その平均は90度で、ばらつきは1度以内であった。また、その反射光の全光強度を光検出器で測定することにより、傾斜端面ミラーの反射効率を測定したところ、平均95%であり、ばらつきは2%以内であった。また、光ファイバ入射端面に戻ってくる光の強度を測定することにより、反射減衰率を測定したところ、平均で-7.0 dBであった。

【0220】本発明においては、前述のように、光導波路の材料に高分子材料を用いる場合、前記構造式(I)～(VI)で表される高分子を用いると好適である。これらの材料は、いずれも損失値として短波長領域で0.1 dB/cm以下の低い損失を示すことから、優れた光路変換素子を作製することが可能となる。下記の表1にこれらの損失特性を示した。特に、0.85 μm帯における光透過特性を要求される場合には、前記構造式(I)で示されるPMMA、重水素化PMMA、あるいは重水素化ポリフルオロメタクリレート(重水素化PFMA)からコアを構成すればよい。また、1.3 μm帯における光透過特性を要求される場合には、前記構造式(I)で示される重水素化PMMA、あるいは重水素化PFMA、あるいは構造式(V)および(VI)のシリコンからコアを構成すればよい。また、1.55 μm帯における光透過特性を要求される場合には、構造式(V)および(VI)のシリコンからコアを構成すればよい。また、損失よりも耐熱性を優先する場合には、構造式(II)～(IV)のエポキシ樹脂や、構造式(V)および(VI)のシリコンからコアを構成すればよい。

【0221】

【表1】

(25)

特開平10-300961

49

50

コア材料		PMMA 式(I)	重水素化PMMA および 重水素化PFMA 式(I)	光硬化 エポキシ樹脂 式(II)~(IV)	シリコン 式(V)~(VI)
損失 (dB/cm)	0.85 $\mu$ m帯	0.04	0.02	0.08	0.08
	1.3 $\mu$ m帯	0.3	0.07	0.3	0.1
	1.55 $\mu$ m帯	0.8	1.3	2	0.2
半田耐熱		△	△	○	○

【0222】以上の実施例において、導波路材料については、ポリメチルメタクリレート、重水素化・フッ素化ポリメタクリレート、ポリシロキサン、エポキシ樹脂、石英ガラスを用いた例を示したが、光導波路材料として知られているポリカーボネート、ポリイミド、ポリアミド、ポリウレタン、ポリアクリレート、ポリオレフィン、ポリエーテル、シリコン樹脂、シクロペンゾブテン、アクリル系樹脂等の高分子材料や、バイレックスガラス、酸化珪酸ガラス、フッ化珪酸ガラス、カルコゲナイトガラス等のガラス系材料、ニオブ酸リチウム、GGG等の他の誘電体材料にも同様に本発明の方法が適用できるのは言うまでもない。

【0223】

【発明の効果】以上説明したように、本発明による光路変換素子の作製法を用いると、光送信器などの光モジュールの高集積化、組立コストの削減等に有効な光素子として期待されている高性能な反射型光路変換素子を高精度かつ容易に作製することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来のマイクロームによる光導波路の端面切断法の説明図である。

【図2】従来のマイクロームによる光導波路の端面切断法の説明図である。

【図3】従来の回転ブレードによるマイクロミラー作製法の説明図である。

【図4】従来の回転ブレードによるマイクロミラー作製法の説明図である。

【図5】基板上に作製されたポリマ光導波路の上面図である。

【図6】図5に示したポリマ光導波路のB-B'線に沿う側断面図である。

【図7】図5に示したポリマ光導波路をA-A'線に沿ってダイシング加工によりマイクロミラーを形成した後の、該ポリマ光導波路のB-B'線に沿う側断面図である。

【図8】マイクロミラー付き光導波路フィルムの側断面図である。

【図9】図5に示したポリマ光導波路をA-A'線に沿って片刃のブレードを用いてダイシング加工によりマイクロミラーを形成した後の、該ポリマ光導波路のB-

B'線に沿う側断面図である。

【図10】基板上に接着フィルムによって固定された光ファイバを示し、(A)はその上面図、(B)は、

(A)のA-A'線に沿って切った側面断面図である。

【図11】図10に示した光ファイバを加工した状態を示し、(A)は図10(A)のA-A'線に沿って切削加工により傾斜端面を形成した後の、B-B'線における側面断面図、(B)は、切削加工により傾斜端面形成後、接着フィルムを剥離し、基板から光ファイバを分離することにより作製した、傾斜端面ミラー付き光ファイバの側面断面図、(C)は、図10(A)に示した光ファイバをA-A'線に沿って、片刃状ブレードを用いて切削加工することにより傾斜端面を形成した後の、B-B'線における側面断面図である。

【図12】光導波路に傾斜端面を切削により形成するためのブレードの平均粒径と、形成された傾斜端面の反射効率、および切削可能最高速ととの関係を示すグラフである。

【図13】光導波路に傾斜端面を含むV溝を形成するブレードの頂角と、形成された溝の頂角との関係を示すグラフである。

【図14】マイクロミラー付き光導波路フィルムを搭載して構成した光送信器の側断面図である。

【図15】マイクロミラー付き光導波路フィルムを搭載して構成した光受信器の側断面図である。

【図16】傾斜端面ミラー付き光ファイバを搭載して構成した光送信器の側断面図である。

【図17】傾斜端面ミラー付き光ファイバを搭載して構成した光受信器の側断面図である。

【図18】マイクロミラー加工のために用いる片刃のブレードの刃先の断面図である。

【図19】マイクロミラー付き光導波路のミラー上部に発光素子を搭載することにより構成した光送信器の側断面図である。

【図20】マイクロミラー付き光導波路のミラー上部に受光素子を搭載することにより構成した光受信器の側断面図である。

【図21】図9の受光素子マイクロミラー付き光導波路の上部に、図8のマイクロミラー付き光導波路フィルムを搭載して構成した積層型光導波路の側断面図である。



(27)

特開平10-300961

51

【図22】光導波路に形成されたV溝の光軸にはほぼ垂直な入出射面における該入出射面の光軸垂直面に対する傾斜角度と、該入出射面で生じる伝搬光の反射減衰との関係の説明するためのV溝近傍の断面図である。

【図23】光導波路に形成されたV溝の光軸にはほぼ垂直な入出射面における該入出射面の光軸垂直面に対する傾斜角度と、該入出射面での伝搬光の反射減衰率との関係を示すグラフである。

【図24】光導波路に形成されたV溝の光軸にはほぼ垂直な入出射面における該入出射面の光軸垂直面に対する傾斜角度と、該入出射面による伝搬光の偏向との関係の説明するためのV溝近傍の断面図である。

【図25】光導波路に形成されたV溝の光軸にはほぼ垂直な入出射面において生じるフレネル反射を減少させるためにV溝に樹脂を充填した状態を示すV溝近傍の断面図である。

【図26】Y分岐光導波路と、マイクロミラーを形成する位置を説明する図である。

【図27】本発明のブレードの一例を示す刃先の断面図である。

【図28】本発明の光路変換素子の一例を示す側断面図である。

【図29】本発明のブレードの他の一例を示す刃先の断面図である。

【図30】本発明のブレードのさらに他の一例を示す刃先の断面図である。

【図31】本発明の光路変換素子の他の一例を示す側断面図である。

【図32】本発明のブレードのさらに他の一例を示す刃先の断面図である。

【図33】本発明のブレードのさらに他の一例を示す刃先の断面図である。

【図34】基板上に接着フィルムによって固定された光ファイバリボンを示し、(A)はその上面図、(B)は(A)に示した光ファイバリボンをA-A'線で切った側面断面図である。

【図35】図34に示した光ファイバリボンを加工した状態を示し、(A)は、図34(A)のA-A'線に沿って切削加工により傾斜端面を形成した後の、B-B'線における側面断面図、(B)は、切削加工により傾斜端面形成後、接着フィルムを剥離し、基板から光ファイバを分離した後、先端部の被覆を剥離して作製した、傾斜端面ミラー付き光ファイバの側面断面図である。

【図36】光ファイバシートの作製工程を示す図であり、(A)は、先端の被覆を剥離した後、V溝付き基板上に樹脂系の接着剤によって固定された光ファイバリボンの上面図、(B)は、図(A)に示した光ファイバリボンをA-A'線で切った側面断面図である。

【図37】基板上に固定した光ファイバに片刃状のブレードによりV溝を形成した後にフレネル反射を低減する

52

ために樹脂を前記V溝に充填した状態を示す断面図である。

【図38】樹脂中に光ファイバを埋め込むことにより作製される光ファイバシートを示す上面図である。

【図39】本発明のブレードのさらに他の一例を示す刃先の断面図である。

【図40】図39のブレードにより光ファイバに形成したV溝近傍の断面図である。

【図41】基板上に固定した光ファイバに片刃状のブレードによりV溝を形成した後に傾斜端面に反射を向上させるために金属膜を形成した状態を示す断面図である。

【図42】本発明のブレードのさらに他の一例を示す刃先の断面図である。

【図43】図42のブレードにより光ファイバに形成したV溝近傍の断面図である。

【符号の説明】

- 1 基板
- 3 平面型光導波路のコア
- 4 上部クラッド
- 5 下部クラッド
- 6、9 傾斜端面(マイクロミラー)
- 8 空間を伝搬してきた光
- 9a 傾斜端面に対向するほぼ垂直な面
- 10 内部伝搬光
- 11 外部入射光
- 12a V溝
- 12b V溝
- 21 シリコン基板
- 22 光ファイバ
- 23 被覆を剥離した光ファイバの先端部
- 24 光ファイバの先端部を固定するための接着フィルム
- 25 光ファイバのコア
- 26 光ファイバのクラッド
- 27 傾斜端面ミラー
- 28 光ファイバを伝搬する光
- 29 傾斜端面ミラーにより光路変換され光ファイバ外下方へ伝搬する光、または光ファイバ外下方から傾斜端面ミラーを介して導波路へ入射する光
- 30 30 傾斜端面
- 31 光ファイバを伝搬する光
- 32 傾斜端面ミラーにより光路変換され光ファイバ外上方へ伝搬する光、または光ファイバ外上方から傾斜端面ミラーを介して光ファイバへ入射する光
- 40 40 両刃のブレード
- 42 実装基板
- 43 面発光レーザー
- 44 レーザー光
- 45a 光導波路伝搬光
- 45b 光ファイバ伝搬光

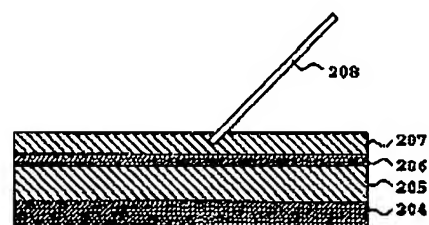


特開平 10-300961

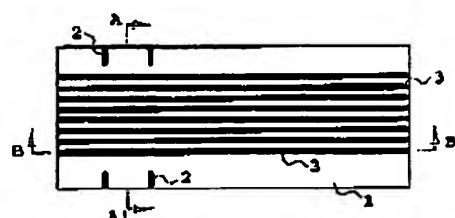
54

- |              |                           |          |                       |
|--------------|---------------------------|----------|-----------------------|
| 4 6          | 哀装基板                      | * 1 0 3  | 金                     |
| 4 7          | 光導波路中を導波する光               | 1 0 6    | シリコン基板                |
| 4 8          | 光ファイバ中を導波する光              | 1 0 7    | 4心の光ファイバリボン           |
| 4 9          | フォトダイオード                  | 1 0 8    | 紫外線分解型の接着フィルム         |
| 5 0          | 片刃のブレード                   | 1 0 9    | 被覆材                   |
| 5 1 a, 5 1 b | 楕圓型光導波路の導波層               | 1 1 0    | グレーディッド・インデックス型マルチモード |
| 5 2          | 角度 $\theta$ だけ傾斜させた端面     |          | 光ファイバ                 |
| 5 3          | 傾斜を付けた端面からでた光の反射光路        | 1 1 1    | コア                    |
| 5 4          | 傾斜を付けない垂直端面からでた光の反射光路     | 1 1 2    | クラッド                  |
| 6 3          | 傾斜端面で反射した反射光              | 10 1 1 3 | 傾斜端面                  |
| 7 0          | 光導波路とほぼ屈折率の等しい樹脂          | 1 1 6    | ガラス基板                 |
| 7 5          | 垂直な端面                     | 1 1 7    | 4心の光ファイバリボン           |
| 7 6          | レーザー光                     | 1 1 8    | グレーディッド・インデックス型マルチモード |
| 7 7          | 傾斜端面                      |          | 光ファイバ                 |
| 7 8          | 傾斜端面で反射した反射光              | 1 1 9    | 紫外線硬化型樹脂              |
| 8 2          | 頂角88度のV字形に加工されたブレード       | 1 2 0    | V状の固定用の溝              |
| 8 3          | 頂角93度のV字形に加工されたブレード       | 1 2 1    | コア                    |
| 8 4          | 頂角44度の楔形に加工されたブレード        | 1 2 2    | クラッド                  |
| 8 6          | 頂角53度の楔形に加工されたブレード        | 1 2 3    | 傾斜端面                  |
| 8 7          | 頂角55.5度の片刃状に加工されたダイヤモンド   | 20 1 2 4 | グレーディッド・インデックス型マルチモード |
| ドブレード        |                           |          | 光ファイバ                 |
| 8 8          | 頂角53度の片刃状に加工されたダイヤモンドブレード | 1 2 5    | 樹脂                    |
| 9 9          | 傾斜端面                      | 1 2 6    | コネクタ                  |
| 1 0 0        | 垂直な端面                     | 1 2 7    | 傾斜端面ミラーを形成する部分        |
| 1 0 1        | レーザー光                     | 1 3 2    | 端面                    |
| 1 0 2        | 傾斜端面で反射した反射光              | 1 3 3    | 光ファイバの光軸              |
|              | *                         | 1 3 4    | 垂直な平面                 |

【圖3】



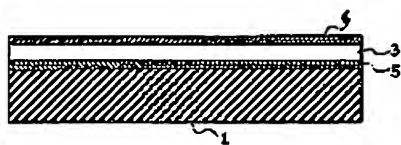
【图5】



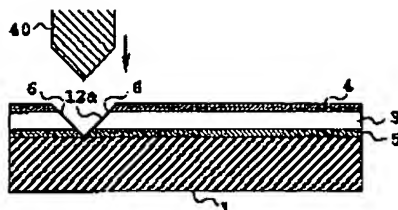
(29)

特開平10-300961

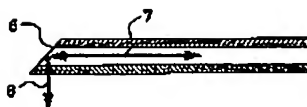
【図6】



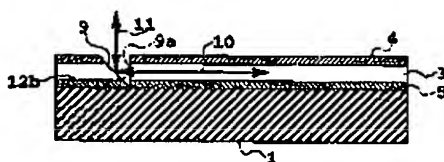
【図7】



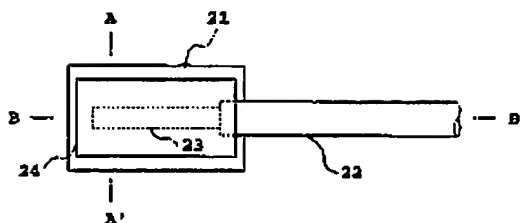
【図8】



【図9】

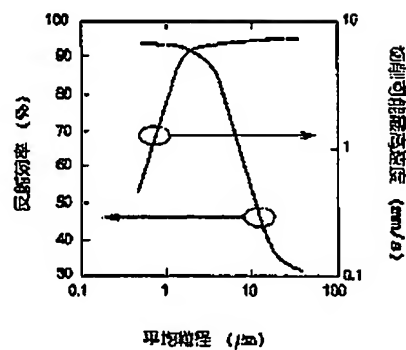


【図10】

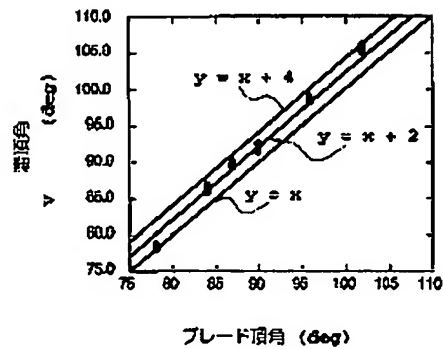


(A)

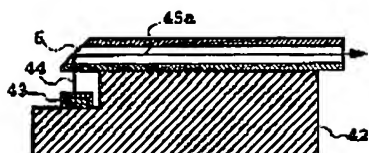
【図12】



【図13】



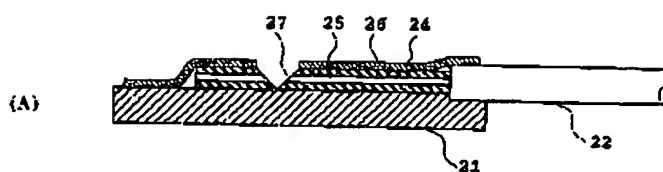
【図14】



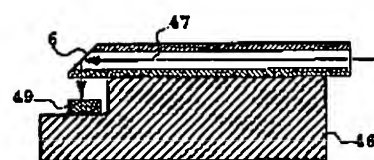
(30)

特開平10-300961

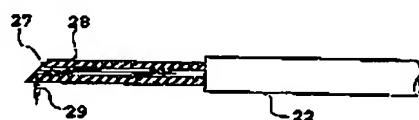
【図11】



【図15】



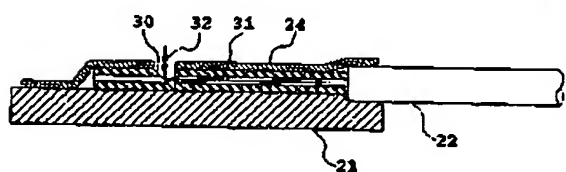
(B)



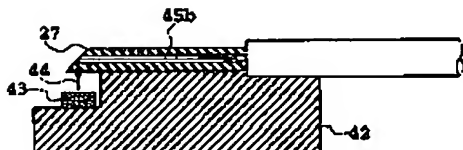
【図19】



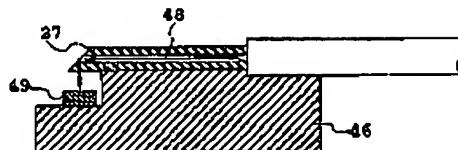
(C)



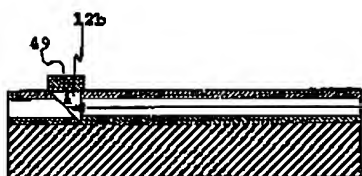
【図16】



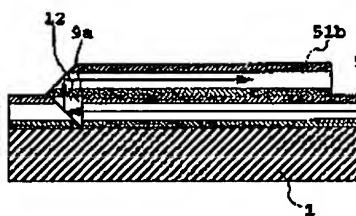
【図17】



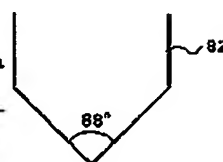
【図20】



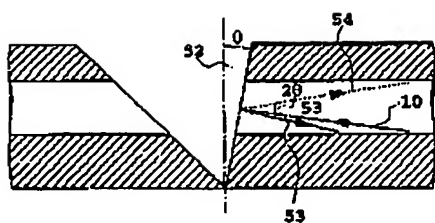
【図21】



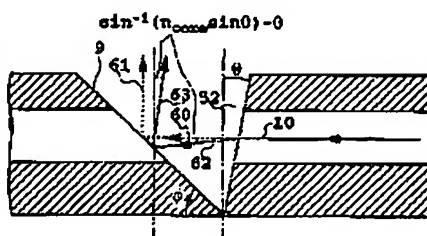
【図27】



【図22】



【図24】



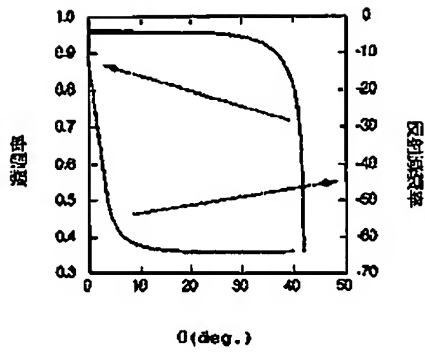
【図30】



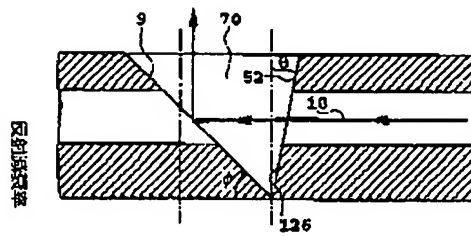
(31)

特開平10-300961

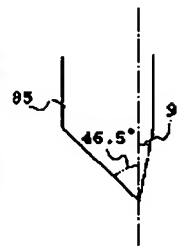
【図23】



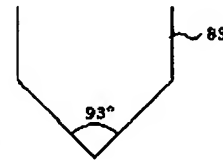
【図25】



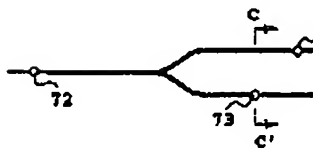
【図32】



【図29】



【図26】



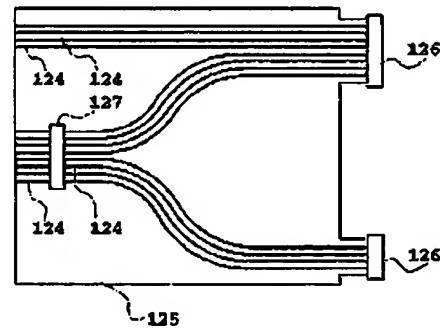
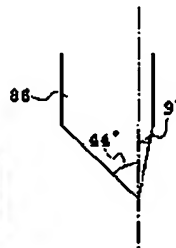
【図28】



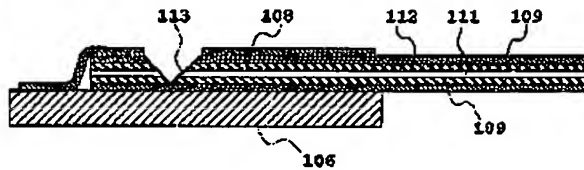
【図33】

【図38】

【図31】



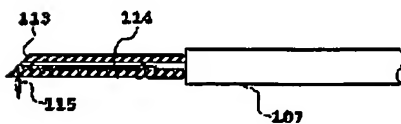
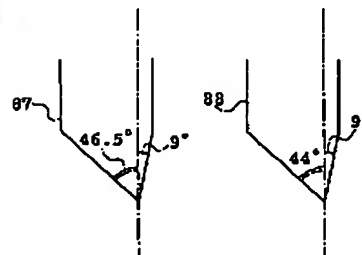
【図35】



(A)

【図39】

【図42】

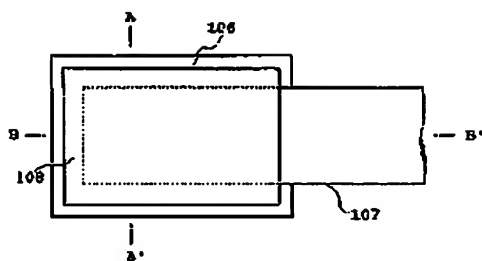


(B)

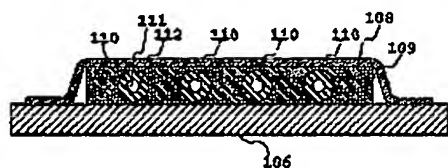
(32)

特開平10-300961

【図34】

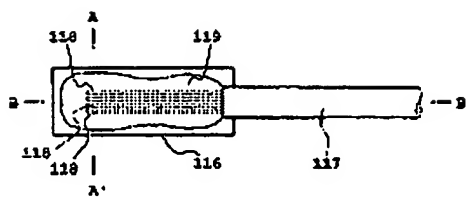


(A)

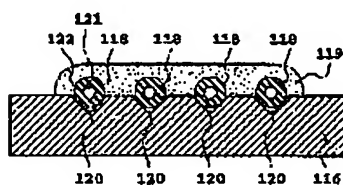


(B)

【図36】

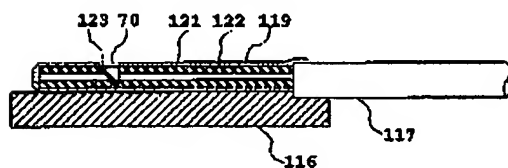


(A)

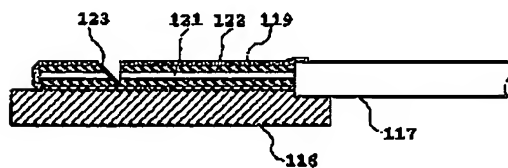


(B)

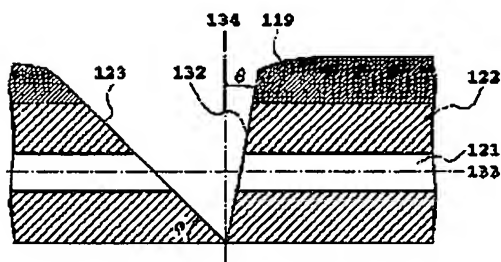
【図37】



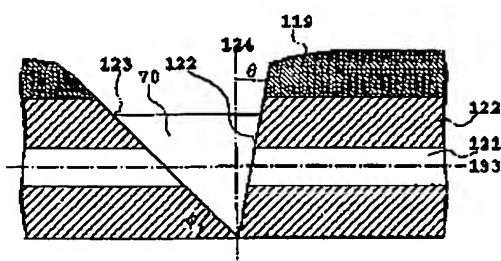
【図41】



【図40】



【図43】



(33)

特開平10-300961

フロントページの続き

(72)発明者 今村 三郎  
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

(72)発明者 碓氷 光男  
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内

(72)発明者 桂 浩輔  
東京都新宿区西新宿三丁目19番2号 日本  
電信電話株式会社内